

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIONES

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

“DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA EMPRESA CINE CABLE TV”

MYRIAM FABIOLA PANCHI HERRERA

Quito – 2016

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	i
2	JUSTIFICACIÓN.....	ii
3	ANTECEDENTES	ii
4	OBJETIVOS.....	iii
5	DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO: MARCO TEÓRICO.....	1
5.1	FIBRA ÓPTICA [1]	1
5.1.1	Fibra Óptica Multimodo (MMF) [2][3]	1
5.1.1.1	Fibra Multimodo de Índice Escalonado (<i>Multimode Step Index</i>) [4][5]	2
5.1.1.2	Fibra Multimodo de Índice Gradual (<i>Multimode Graded Index</i>) [4][6]	2
5.1.2	Fibra Óptica Monomodo (SMF) [7]	3
5.2	ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA [1][8].....	4
5.2.1	Atenuación Intrínseca [9].....	4
5.2.1.1	Atenuación intrínseca por absorción [10][6]	4
5.2.1.2	Pérdidas Intrínsecas por Scattering [13].....	5
5.2.2	Atenuación Extrínseca [15].....	6
5.2.2.1	Pérdidas por macro-curvatura de la fibra [16][17].....	6
5.2.2.2	Pérdidas por micro-curvatura [8][17].....	7
5.3	DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA [9][13].....	8
5.3.1	Dispersión Modal [1][17]	8
5.3.2	Dispersión Cromática [18].....	8
5.3.2.1	Dispersión cromática del material [9][13]	9

5.3.2.2	Dispersión cromática de guía de onda [6][18]	9
5.3.3	Dispersión de modo de polarización (PMD) [20]	10
5.4	BANDAS ESPECTRALES ÓPTICAS [21]	11
5.5	FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO ESPECIFICADAS POR LA ITU-T [21]	12
5.5.1	Recomendación ITU-T G.652 [21]	13
5.5.2	Recomendación ITU-T G.653 [22]	14
5.5.3	Recomendación ITU-T G.654 [23]	14
5.5.4	Recomendación ITU-T G.655 [24]	14
5.6	RED ÓPTICA PASIVA (<i>Passive Optical Network</i> , PON) [1][26]	15
5.7	ARQUITECTURA FTTx [21]	16
5.8	ESTÁNDARES PON	18
5.8.1	Red óptica pasiva ATM (APON) [26][27]	18
5.8.2	Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (BPON) [29][30][31]	18
5.8.3	Red Óptica Pasiva Ethernet (EPON) [32][33]	18
5.8.3.1	Topología de red EPON [34]	19
5.8.3.2	Mecanismo de transmisión [26][34]	20
5.8.3.3	Protocolo MPCP (Multi-Point Control Protocol) [35][36]	21
5.9	GPON (<i>Gigabit-Capable PON</i>) [37][38][39][40][41]	22
5.9.1	Características de la red GPON [42][44][45]	23
5.10	EPON y GPON [37]	25
5.10.1	Ancho de Banda [37][28]	26
5.10.2	Sistema de gestión [28][38]	26

5.10.3	Alcance [28].....	26
5.10.4	Seguridad y Protección [37].....	26
6	RED ACTUAL DE CINE CABLE TV	28
6.1	CINE CABLE TV MILAGRO [45].....	28
6.1.1	Cabecera [46]	28
6.1.2	Red troncal [47][48].....	29
6.1.3	Red de distribución [47][48].....	30
6.1.4	Red de acometida y terminal de usuario [48]	30
6.2	TELEVISIÓN PAGADA A NIVEL NACIONAL [49]	30
6.2.1	Servicio de Televisión por Cable [45]	32
7	DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA EMPRESA CINE CABLE TV	34
7.1	CONSIDERACIONES INICIALES [1]	34
7.2	ANÁLISIS DEL MERCADO [52][53].....	35
7.2.1	CNT TV [54][55].....	35
7.2.2	DIRECTV [56][57][45]	36
7.2.3	CLARO TV [58]	37
7.2.4	CINE CABLE TV [59]	38
7.3	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA.....	38
7.4	ESTUDIO DE LA DEMANDA [60]	39
7.4.1	Demanda Actual [61]	40
7.4.2	Demanda Insatisfecha [62]	43
7.4.3	Demanda Proyectada [52][63][65]	46

7.4.3.1	Modelo de Regresión Lineal [66][67]	48
7.5	DIMENSIONAMIENTO DE LA RED	50
7.5.1	Información Georreferenciada [61]	51
7.6	TOPOLOGÍA DE LA RED	53
7.6.1	Ubicación de la OLT [63][68]	53
7.6.1.1	ALCATEL-LUCENT ISAM FTTU 7342 P-OLT [69][70]	55
7.6.1.2	ALCATEL-LUCENT I-220E INDOOR-ONT [70]	55
7.6.1.3	OLT CALIX E7-2 GPON-8 [71]	56
7.6.1.4	ONT CALIX T076G [72]	57
7.6.2	Tendido de fibra [73][60]	58
7.6.3	Ubicación de <i>Splitters</i> [65][70]	62
7.7	CÁLCULOS DE ATENUACIÓN [61]	63
7.7.1	Atenuación del cable de fibra óptica [65]	64
7.7.2	Atenuación por Conectores [1]	66
7.7.3	Atenuación por <i>Splitter</i>	66
7.7.4	Atenuación por Empalmes [60]	67
7.7.5	Margen de seguridad [65]	68
7.7.6	Atenuación total [65]	68
7.8	BALANCE ÓPTICO DE LA RED GPON [77]	69
7.9	COSTOS REFERENCIALES DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA [61][78]	70
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
8.1	CONCLUSIONES	72

8.2	RECOMENDACIONES	74
-----	-----------------------	----

1 INTRODUCCIÓN

La demanda de ancho de banda cada vez es mayor por parte de los usuarios de las redes, actualmente, la fibra óptica es el único medio de transmisión que permite enviar gran cantidad de datos a gran velocidad a través de extensas distancias sin necesidad de regenerar la señal, siendo esta utilizada en mayor parte de los entornos empresariales como el medio de comunicación elegido para telefonía, televisión por cable (CATV), en redes troncales LAN, sistemas de video vigilancia, redes industriales, etc.

Este proyecto presenta una propuesta de diseño de una red de acceso mediante la tecnología GPON para la ciudad de Milagro, permitiendo de esta forma ofrecer mejores beneficios tecnológicos como: mejor calidad, nitidez y mayor velocidad en los servicios que la empresa CINE CABLE TV presta a sus abonados actualmente.

Para cumplir con el objetivo planteado este proyecto se divide en cuatro capítulos que describen brevemente el funcionamiento de la red actual de la empresa Cine Cable TV así como el diseño de la nueva red de acceso GPON.

En el capítulo uno se hace una breve descripción de los aspectos más relevantes de la tecnología GPON, además se realiza una comparación teórica de las redes de fibra óptica pasiva EPON y GPON.

El capítulo dos se centra en la descripción de la red de acceso actual de la empresa CINE CABLE TV; se realiza un estudio de la estructura, equipos, funcionamiento y servicios que brinda a sus abonados.

En el tercer capítulo se realiza el estudio y diseño de la red de acceso GPON en base al conjunto de recomendaciones G.984.x de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T); y, a las necesidades y requerimientos de los usuarios ubicados dentro del área de cobertura GPON. Se detalla también el presupuesto de pérdidas que debe cubrir todos los componentes ópticos entre la OLT y la ONU.

En el cuarto capítulo finalmente se presentan recomendaciones y conclusiones derivadas de la realización de este trabajo.

2 JUSTIFICACIÓN

Según estadísticas publicadas por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), se puede apreciar claramente que los grandes operadores de TV Pagada ofrecen su servicio en las principales ciudades como Quito y Guayaquil, mientras que en las pequeñas como la ciudad de Milagro carecen de esta oferta a pesar que la demanda es creciente.

CINE CABLE TV, es una empresa que brinda su servicio de TV por Cable en la ciudad de Milagro desde el año 2009. La empresa utiliza una red de cable coaxial en su totalidad, lo cual implica amplificar la señal muchas veces con el objetivo de dar un buen servicio a sus clientes, obteniendo como resultado altos costos en mantenimiento de la red.

La piratería del servicio es otro problema constante que percibe la empresa CINE CABLE TV, ya que cualquier persona de manera ilegal podría beneficiarse de este servicio sin pagar absolutamente nada, esta es una clara desventaja del cable coaxial con respecto a la fibra óptica.

La fibra óptica es actualmente el único medio de transmisión que permite ofrecer servicios que requieren gran ancho de banda, como es el caso de internet de alta velocidad, video de alta definición, etc.; razón por la cual la empresa CINE CABLE TV requiere implementar a futuro una red de acceso GPON, que le permita brindar servicios nuevos y de alta calidad a un mayor número de clientes.

3 ANTECEDENTES

El inicio del servicio de Televisión por Cable, también conocido como CATV (*Community Antenna Television*) o simplemente cable, surge a mediados de la década de 1940 en Estados Unidos, teniendo como objetivo principal solucionar problemas de recepción de las señales de televisión en zonas alejadas de los centros de emisión.

En nuestro país, las redes de televisión por cable iniciaron a finales de la década de los 80, con la apertura de la empresa SATELCOM S.A., más conocida como TV CABLE, convirtiéndose en una de las empresas pioneras en brindar este servicio.

Desde entonces, el crecimiento del servicio de TV Pagada ha sido vertiginoso, presentado un alto índice de penetración de 30,13% a septiembre del 2016, es decir, representa el porcentaje

de subscriptores de Televisión Pagada con relación a la población total, según datos estadísticos publicados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL).

En nuestro país, actualmente para brindar este servicio existen tres modalidades: Televisión Codificada Satelital (DTH), Televisión Codificada Terrestre (TCT) y Televisión por Cable Físico (TCF). Hasta septiembre del presente año, en el caso de Televisión por Cable cuenta con 240 estaciones instaladas a nivel nacional, entre ellas matrices y repetidoras. La Televisión Codificada Terrestre cuenta con un número bajo de 4 estaciones y en el caso de la Televisión Codificada Satelital cuenta con 7, obteniendo un total de 251 empresas legalmente constituidas.

El alto índice de crecimiento del servicio de TV Pagada se debe principalmente a que los usuarios no ven este servicio sólo como medio de entretenimiento, sino más bien, como una fuente de noticias, educativa, informativa y diferentes tipo de programas de alta calidad, convirtiendo a la TV Pagada en un servicio básico.

Este crecimiento del servicio de TV Pagada incentiva a las empresas proveedoras a disponer de tecnología de punta que les permita brindar otros servicios como por ejemplo Video bajo Demanda.

4 OBJETIVOS

Objetivo General:

Realizar el estudio y diseño de una red de acceso GPON para la Empresa CINE CABLE TV en la ciudad de Milagro.

Objetivos Específicos:

- Analizar la red e infraestructura actual de la Empresa “CINE CABLE TV” Milagro.
- Determinar la demanda.
- Diseñar la red de acceso y distribución GPON en la ciudad de Milagro.
- Analizar y elegir los equipos a utilizar en la nueva red de acceso.
- Realizar un presupuesto referencial de la red diseñada.

5 DESARROLLO DEL CASO DE ESTUDIO: MARCO TEÓRICO

5.1 FIBRA ÓPTICA [1]

La fibra óptica básicamente es una guía de ondas dieléctricas que confina y guía a la luz a lo largo de su eje. La variación en el material y tamaño de su estructura determina las características de transmisión de la señal de luz e influencia como la fibra responde a las perturbaciones del ambiente como el stress, dobladuras y variaciones de temperatura.

La fibra óptica es el único medio de transmisión que permite brindar servicios como canales HDTV, aplicaciones en telemedicina, apta para ser utilizada en ambientes industriales, intercambio de información por medio de redes del tipo P2P, servicios que requieren de gran ancho de banda y que simplemente no son posibles con los conductores metálicos.

5.1.1 Fibra Óptica Multimodo (MMF) [2][3]

La fibra multimodo, fue la primera en ser comercializada y fabricada, permite transportar muchos haces de luz simultáneamente por diferentes caminos o modos a través de una guía de ondas. Para que las ondas se propaguen al interior del núcleo de la fibra óptica, éstas ondas deben ingresar a la fibra con un ángulo apropiado, caso contrario no ingresarán a la fibra. El ángulo de aceptación (θ_a), es el ángulo de mayor tamaño que puede incidir en el ingreso a la fibra para que al interior logre reflexión total interna (RTI). Al seno del ángulo de aceptación se le denomina apertura numérica (AN) de la fibra óptica.

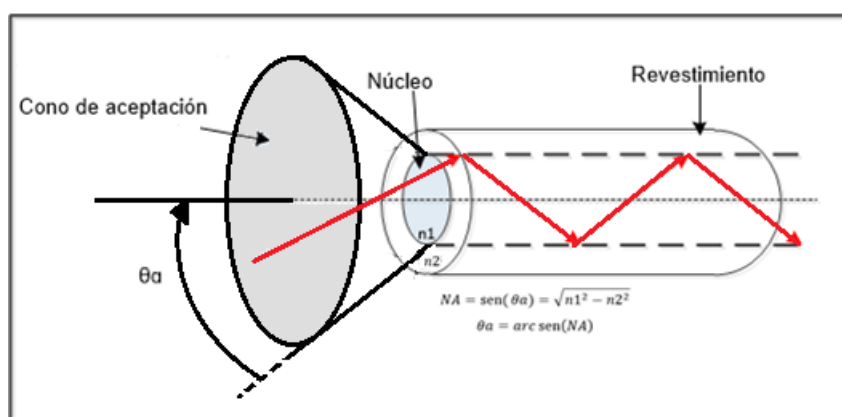


Figura 5.1. Apertura numérica (NA) y el ángulo de aceptación. [A]

La fibra multimodo tiene un diámetro de núcleo mucho más grande que el diámetro del núcleo de la fibra monomodo, permitiendo gran cantidad de modos o caminos, es más fácil su

conexión y tiene mayor tolerancia a componentes de menor precisión. La fuente de luz que suele utilizarse para las fibras multimodo es un LED (*Light Emitting Diode*). Este tipo de fibras se utiliza en aplicaciones de corta distancia.

Las fibras multimodo se clasifican en función del índice de refracción del núcleo en:

- fibras de índice escalonado y
- fibras de índice gradual.

5.1.1.1 Fibra Multimodo de Índice Escalonado (*Multimode Step Index*) [4][5]

En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo es mayor que el índice de refracción de revestimiento y ambos permanecen constantes, por lo que al pasar de una zona a otra se tiene un cambio abrupto en el índice de refracción.

Valores típicos de NA se encuentran entre 0,2 y 0,5. El núcleo de este tipo de fibra tiene un diámetro mayor, su gran núcleo permite que los rayos de luz incidentes con un ángulo cuyo seno sea inferior a la apertura numérica se propaguen por varios modos o caminos dando lugar a la dispersión modal, es decir, el ensanchamiento temporal de la luz cuando viaja a través de la fibra.

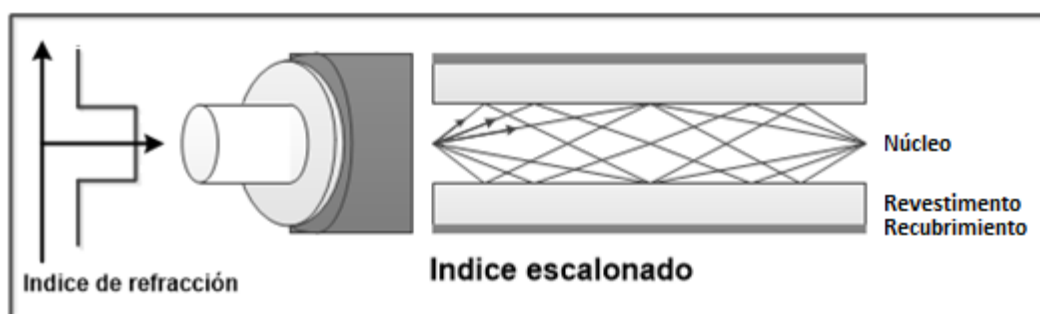


Figura 5.2. Fibra multimodo de índice escalonado. [B]

5.1.1.2 Fibra Multimodo de Índice Gradual (*Multimode Graded Index*) [4][6]

En este tipo de fibra el valor del índice de refracción del núcleo es variable, mientras que el del revestimiento se mantiene constante. El cambio de índice de refracción en el interior de la fibra es gradual, disminuye progresivamente desde un valor n_1 máximo en el centro del núcleo, hasta un valor n_2 en el límite con el revestimiento. La variación del índice de refracción en el perfil de la fibra da lugar a que la luz se propague según una trayectoria curva, en lugar de a tramos rectos como las fibras de índice escalonado.

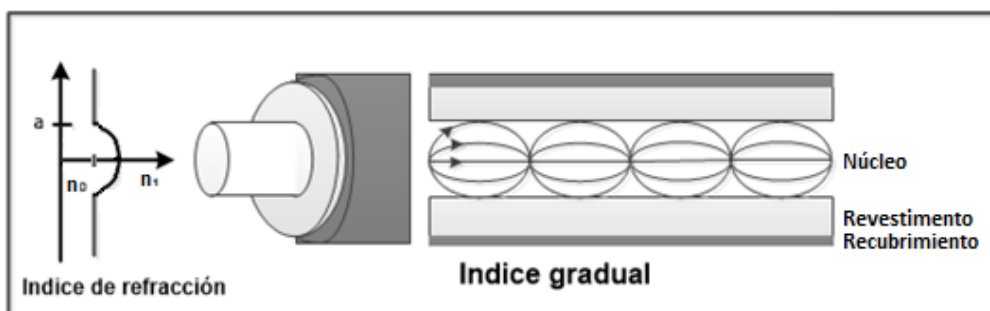


Figura 5.3. Fibra multimodo de índice gradual. [B]

La NA tiene un valor típico de 0,2 o ligeramente menor.

La mayoría de las fibras de índice gradual tienen un núcleo con diámetro de 50 μm y un revestimiento con 125 μm de diámetro.

Estas fibras provocan menos modos de propagación que las de índice escalonado, reduciendo la dispersión modal y con ello se consigue un aumento de ancho de banda. Estas fibras son empleadas hasta distancias de 10 km a bajas velocidades.

5.1.2 Fibra Óptica Monomodo (SMF) [7]

La fibra monomodo se caracteriza por que el diámetro de su núcleo es muy pequeño, entre los 8 y 10 μm , en el cual los rayos de luz generados por un láser, ingresan y se propagan por un único camino paralelo al eje de la fibra.

En este tipo de fibra la dispersión modal es mínima permitiendo transmisiones con mayor ancho de banda y a distancias más largas que con las fibras multimodo.

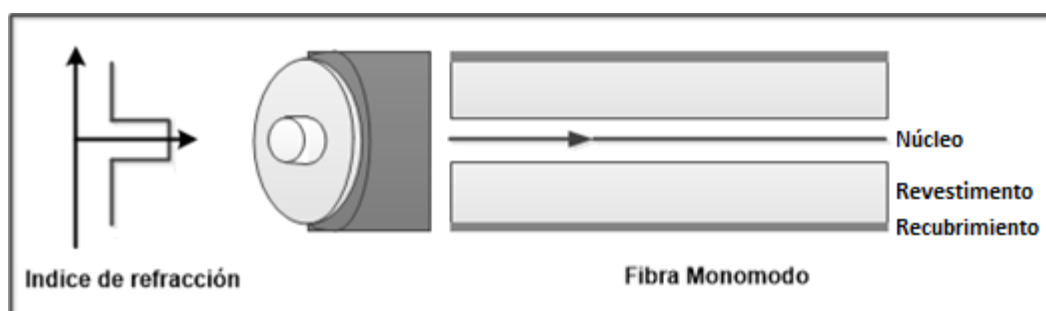


Figura 5.4. Fibra monomodo. [B]

5.2 ATENUACIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA [1][8]

La atenuación limita la distancia de transmisión de una manera diferente a la de la dispersión. Si la pérdida de potencia en la señal óptica a través de la fibra es excesiva, no habrá suficiente potencia en el receptor para reconocer la señal de transmisión. Se refiere a la pérdida de potencia como tasa de atenuación, la cual es especificada en unidades de dB/Km.

La atenuación o pérdida es causada por varios factores unos de carácter intrínseco a la fibra, tal como la composición de vidrio; y, otros de origen externo, causado por impurezas, defectos en el cableado, en la geometría de la fibra, etc.

5.2.1 Atenuación Intrínseca [9]

Es inherente a la fibra, se introduce durante el proceso de fabricación, no se pueden eliminar y es causado por impurezas o irregularidades dentro del vidrio. Si la señal de luz que se transmite a través del núcleo de la fibra choca con una impureza, pueden ocurrir dos cosas: puede esparcirse o puede ser absorbida.

5.2.1.1 Atenuación intrínseca por absorción [10][6]

Son pérdidas que se producen debido a impurezas de los materiales con los que se fabrica la fibra óptica, estas impurezas absorben el rayo de luz transportado y lo convierte en calor.

Básicamente, las pérdidas por absorción se originan por los rayos ultravioletas, rayos infrarrojos y por la presencia de iones hidroxilo OH^{-1} .

- **Pérdidas por absorción ultravioleta [11]:** se debe a la excitación electrónica (cambio de nivel de un electrón), cada uno de estos saltos da lugar a absorción de energía y a pérdidas.

La absorción ultravioleta disminuye apreciablemente a medida que la longitud de onda crece, por lo tanto a longitudes por encima de 1000nm su influencia es casi nula.

- **Pérdidas por absorción infrarrojos [12]:** en la región infrarroja los fotones de luz son absorbidos por los átomos de las moléculas del núcleo de vidrio. Los fotones absorbidos se convierten en vibraciones mecánicas aleatorias, características del calentamiento.

La absorción infrarroja crece exponencialmente con la longitud de onda y es despreciable por debajo de los 1400nm.

- **Absorción por resonancia de iones hidroxilo [8]:** los iones hidroxilo se originan debido al vapor de agua que queda atrapado en la fibra al momento de la fabricación, siendo este tipo de pérdidas significativos en longitudes de onda cercanas a los 1400nm.

La siguiente figura muestra las pérdidas características en la fibra óptica, debido a las absorciones ultravioleta, infrarroja y de resonancia de iones.

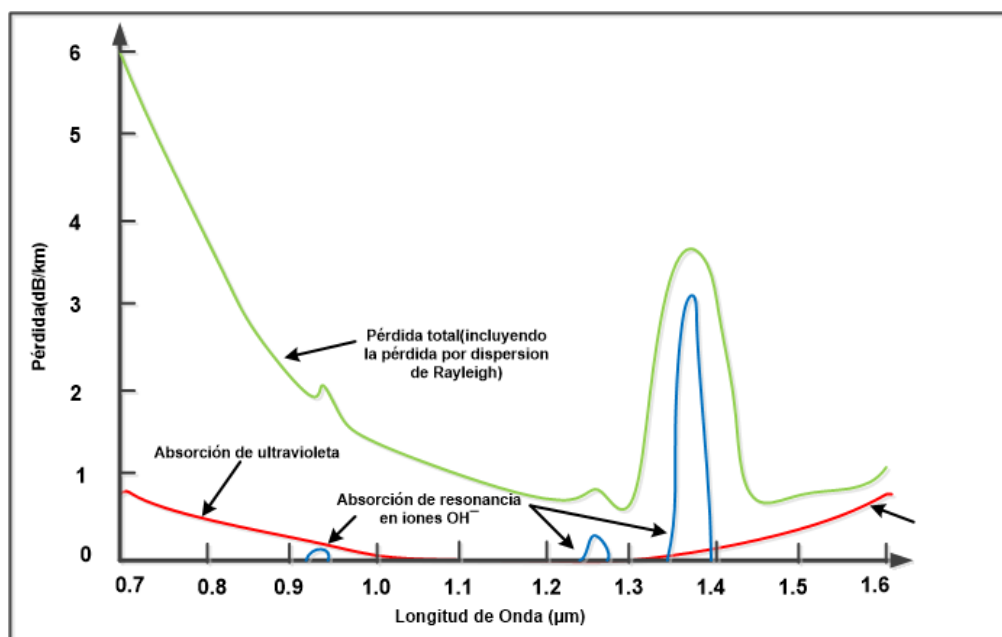


Figura 5.5. Pérdidas por absorción en las fibras ópticas. [C]

5.2.1.2 Pérdidas Intrínsecas por Scattering [13]

Estas son fenómenos provocados por daños sub-microscópicos y ciertas obstrucciones que producen cambio ligero en el índice de refracción del material.

- **Pérdidas por Scattering de Rayleigh [12][6][9]**

Se produce cuando los rayos de luz que se propagan por la fibra chocan en su camino con partículas extrañas al medio del material, cuyo diámetro es considerado mucho menor que la longitud de onda de la señal óptica, provocando que el rayo incidente se disperse en muchas direcciones. Una parte del rayo difractado escapa a través del revestimiento y la otra parte continua recorriendo la fibra.

Las pérdidas por efecto Rayleigh de mayor influencia están comprendidas entre 400nm y 1100nm, por tanto, para evitarlas se debe utilizar longitudes de onda lo más altas posible.

Este tipo de dispersión representa mayoritariamente (cerca del 96%) de la atenuación de una fibra óptica, en la presente tabla se muestra valores de pérdidas intrínsecas típicas para longitudes de onda de 1300nm y 1550nm.

Tabla 5.1. Pérdidas intrínsecas típicas. [6]

λ [nm]	Absorción [dB/km]	Rayleigh [dB/km]
1300	0,05	0,25
1550	0,09	0,15

- **Pérdidas por Scattering de Mie [14]**

Se produce cuando los rayos de luz que se propagan por la fibra chocan en su camino con partículas extrañas al medio del material, cuyo diámetro es comparable con la longitud de onda de la señal óptica, provocando que el rayo incidente se esparza principalmente hacia adelante.

Hoy en día este tipo de pérdidas producidas por imperfecciones detectadas en la fibra como burbujas, variaciones del diámetro, imperfecciones en la interfaz, están prácticamente eliminadas en su mayoría durante el proceso de fabricación de la fibra.

5.2.2 Atenuación Extrínseca [15]

Los factores externos también tienen influencia en la atenuación total de la señal óptica transmitida por la fibra. Se originan a causa de impurezas, defectos en la geometría de la fibra, defectos de cableado, curvaturas.

5.2.2.1 Pérdidas por macro-curvatura de la fibra [16][17]

En el proceso de cableado, los cables de fibra óptica suelen sufrir ciertas curvaturas por la topología misma del sitio del cableado o por el medio en que se está trabajando, provocando que la luz se refleje en ciertos puntos con ángulos distintos de los inicialmente calculados, por lo que deja de verificarse en ellos el principio de reflexión total y en consecuencia se produce una fuga de modos hacia el revestimiento.

Esta atenuación varía exponencialmente con el radio de curvatura y únicamente es considerada si se sobrepasa el radio crítico de curvatura del cable.

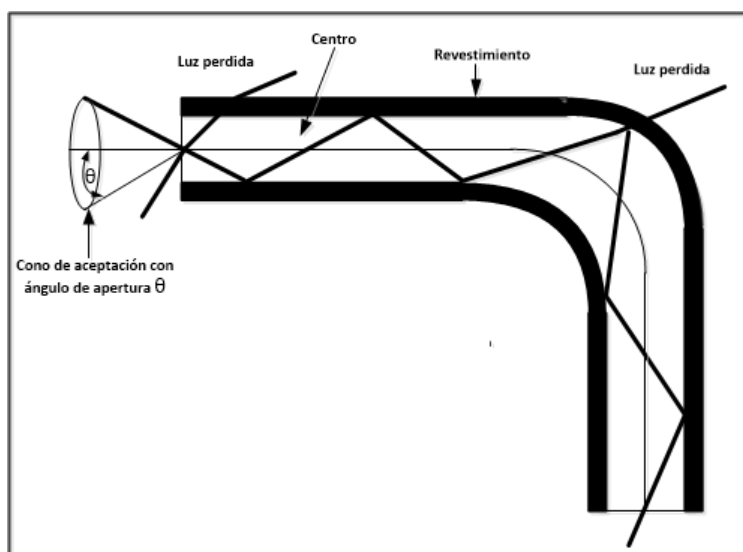


Figura 5.6. Pérdidas por macro-curvatura en la fibra óptica. [D]

5.2.2.2 Pérdidas por micro-curvatura [8][17]

Estas pérdidas son originadas por irregularidades entre el núcleo y el revestimiento, fluctuaciones de diámetro (error de elipticidad) o a fuerzas externas que deformen su geometría.

Las pérdidas por micro-curvatura se presentan únicamente si los defectos periódicos de la fibra son menores que una longitud de onda, es decir si las irregularidades consecutivas del cable se encuentran separadas por menos de una longitud de onda.

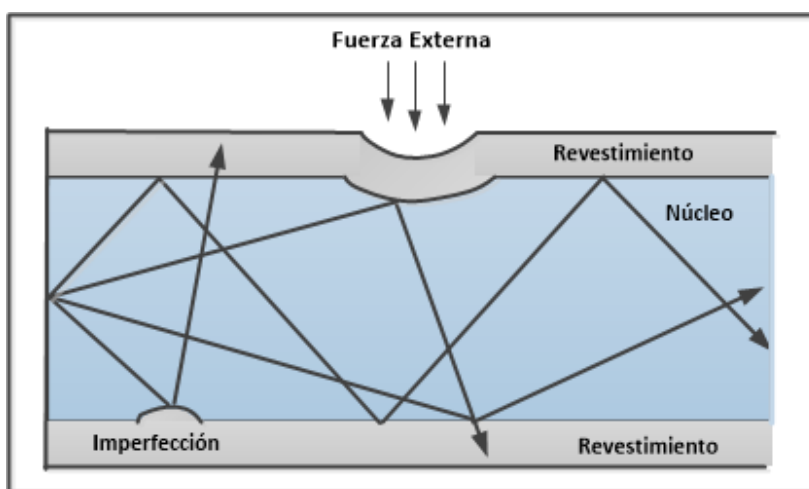


Figura 5.7. Pérdidas por micro-curvatura en la fibra óptica. [E]

Para reducir estas pérdidas se suelen tomarse algunas medidas como:

- Aumentar la sección de la fibra.
- Aumentar la diferencia de índices de refracción entre el núcleo y el revestimiento.

5.3 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA [9][13]

Cuando un pulso de luz viaja a lo largo de la fibra, la señal no solo se atenúa sino que también se desvía o ensancha en el tiempo. Este ensanchamiento produce una reducción en el ancho de banda, por lo tanto una baja velocidad de transmisión.

La dispersión total en la fibra óptica es la suma de los diferentes tipos de dispersión y estos son:

- Dispersión modal
- Dispersión cromática
 - Dispersión del material
 - Dispersión de guía de onda
- Dispersión de modo de polarización

5.3.1 Dispersión Modal [1][17]

Dispersión modal es la más significativa de las dispersiones y sólo ocurre en las fibras multimodo, aunque se puede reducir en forma considerable en fibras de índice graduado.

Ocurre cuando diferentes rayos de luz arriban al final de la fibra a diferentes tiempos debido a las diferentes trayectorias que estos toman. Si se envían varios pulsos en una fibra a alta velocidad, estos se solaparán a causa de la dispersión y el receptor no podrá distinguir donde empieza un pulso y donde acaba el otro, limitando de esta forma el ancho de banda para una longitud de fibra determinada.

5.3.2 Dispersión Cromática [18]

La dispersión cromática está formada por la suma de dos componentes: la dispersión inherente al material y la dispersión originado por la guía de onda.

5.3.2.1 Dispersión cromática del material [9][13]

Ésta es la principal causa de la dispersión cromática, ya que depende intrínsecamente del material. Afecta tanto a fibras multimodo como monomodo.

Ocurre en la fibra debido al ancho espectral de la fuente de luz, es decir, los transmisores que trabajan con láseres o LED's producen un rango de longitudes de onda, cada una de ellas viaja a diferente velocidad de propagación produciendo diferentes retardos, que al final de la fibra ocasionan el ensanchamiento del pulso emitido y por ende la dispersión que limita la velocidad máxima del sistema de transmisión.

La dispersión cromática es un dato que provee el fabricante de la fibra y típicamente tiene como unidades $ps/(km * nm)$ (ps=picosegundos, km=kilómetro, nm=nanómetro).

5.3.2.2 Dispersión cromática de guía de onda [6][18]

La dispersión cromática de guía de onda se presenta de manera significativa solo en fibras monomodo. Se origina debido a que si bien la mayoría de la energía en una fibra monomodo se propaga por el núcleo, existe una porción de energía (aproximadamente el 20%) que se propaga a través del revestimiento, el cual, al tener un índice de refracción menor la energía se propagará a mayor velocidad que la energía que se propaga por el núcleo y por ende esta porción del pulso llegará con distinto retardo al receptor. El grado de dispersión dependerá de la proporción de energía luminosa contenida en el revestimiento.

La dispersión de guía de onda puede ser utilizada para contrarrestar el efecto de la dispersión cromática del material debido a que ambas son de signo contrario y dependen del rango de longitud de onda de la señal. En la siguiente figura se muestra cómo la dispersión guía de onda y la dispersión cromática del material se cancelan de manera natural en la longitud de onda de 1310nm para fibras monomodo estándar (G652), la cual se denomina longitud de dispersión cromática nula. Se hace ajustes en los índices de refracción del núcleo-revestimiento para alterar la dispersión de guía de onda y así cancelar o disminuir la dispersión cromática en otra longitud de onda como en las fibras.

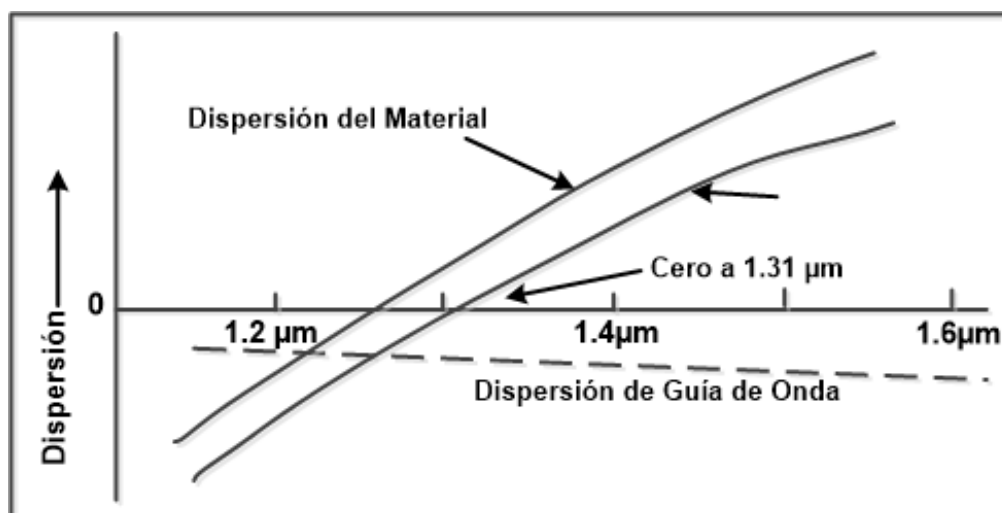


Figura 5.8. Dispersión cromática nula en 1310nm. [F]

5.3.3 Dispersión de modo de polarización (PMD) [20]

PMD ocurre sólo en fibras monomodo y limita a los sistemas de transmisión por fibra óptica de alta velocidad (≥ 10 Gbps) y de larga distancia, produciendo ensanchamiento de los pulsos ópticos transmitidos por una fibra óptica, lo que provoca interferencia entre símbolos y, por lo tanto, un aumento de la tasa de bit erróneo (BER).

En una fibra óptica, la dispersión de modo de polarización ocurre cuando las dos componentes ortogonales de polarización, denominadas modo de polarización recorren la fibra a diferentes velocidades, llegando en distintos tiempos al final de la fibra óptica, ensanchando y distorsionando los pulsos.

Esta variación de la velocidad de grupo se produce por las características birrefringentes² del medio de transmisión: la fibra óptica, es decir, cada modo de polarización de la luz se propagará en un medio con un valor distinto de índice de refracción, lo que implica que la señal original se comporte como dos ondas independientes que viajan a velocidades diferentes a lo largo de la fibra óptica.

² El término birrefringente se refiere a la pérdida de simetría en el índice de refracción del núcleo de la fibra debido a cambios moleculares del material y/o pérdidas de la geometría circular del núcleo de la fibra óptica

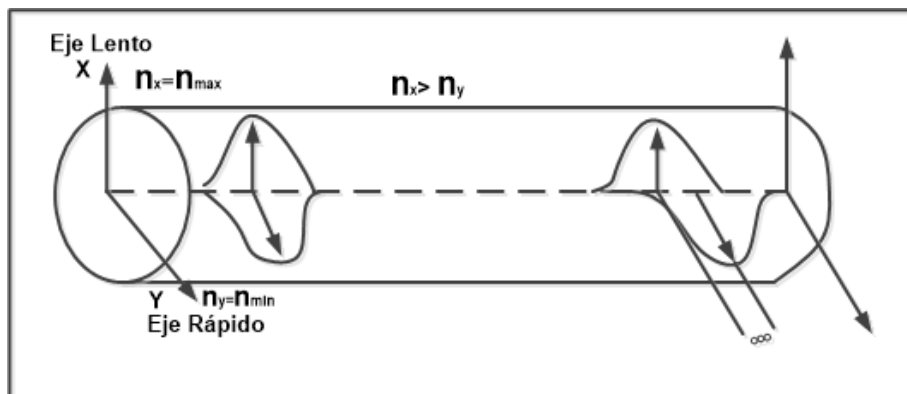


Figura 5.9. Esquema de propagación de dos modos de polarización en una fibra óptica birrefringente. [G]

5.4 BANDAS ESPECTRALES ÓPTICAS [21]

Para proporcionar una capacidad muy alta en los sistemas de transmisión óptica, es deseable permitir un rango tan amplio como sea posible para las longitudes de onda de operación del sistema. La elección del rango de operación de la longitud de onda depende de varios factores como el tipo de fibra, característica de la fuente, rango de atenuación del sistema y la dispersión de la trayectoria óptica.

En las recomendaciones ITU-T, las siguientes bandas espectrales se definen para los sistemas de fibra monomodo.

Tabla 5.2. Banda espectral de la fibra monomodo. [21]

Banda	Descripción	Rango(nm)
O	<i>Original</i>	1260 a 1360
E	<i>Extended</i>	1360 a 1460
S	<i>Short wavelength</i>	1460 a 1530
C	<i>Conventional</i>	1530 a 1565
L	<i>Long wavelength</i>	1565 a 1625
U	<i>Ultra long wavelength</i>	1625 a 1675

Existen zonas donde la atenuación es muy alta, por lo que se consideran cinco bandas espectrales, donde la atenuación alcanza valores sensiblemente pequeños con longitudes de onda adecuadas para la transmisión por medio de la fibra óptica. La Figura 5.10 muestra cada una de estas bandas de transmisión.

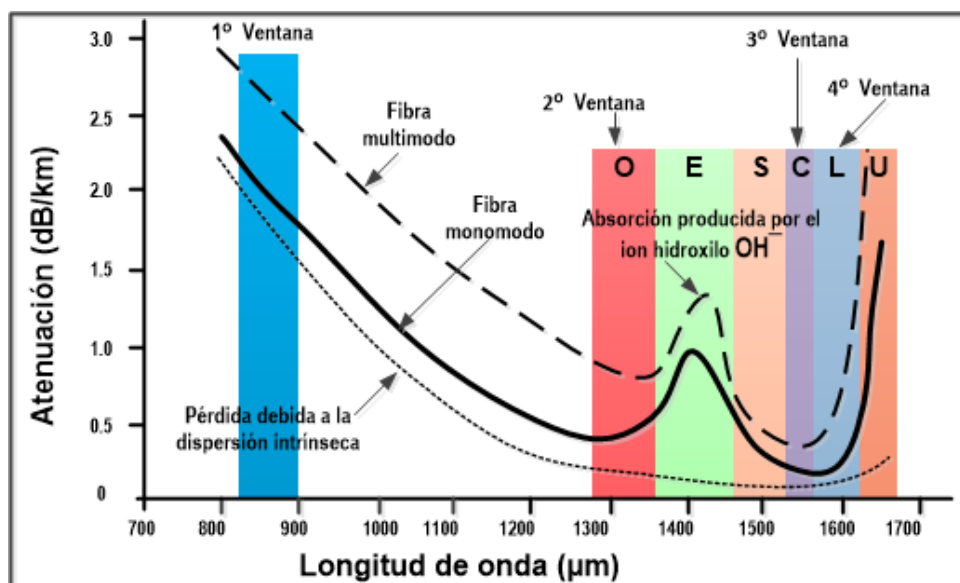


Figura 5.10. Ventanas de transmisión para trabajo con fibra óptica. [H]

5.5 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO ESPECIFICADAS POR LA ITU-T [21]

Las fibras monomodo fueron las primeras en ser ampliamente desplegadas en la red pública y representan a la gran mayoría de las fibras que han sido instaladas.

Esta fibra ha evolucionado y actualmente hay diferentes tipos de fibra SM, en la siguiente tabla se muestra las Recomendaciones ITU-T para fibras ópticas de telecomunicaciones.

Tabla 5.3. Recomendaciones ITU-T para fibra óptica. [1]

ITU-T Rec. No.	Descripción
G.651	Fibra multimodo para uso a 850nm en un campus.
G.652 a, b	Fibra SM estándar (1310nm optimizada)
G.652 c	Fibra <i>Low-water-peak</i> (LWP) para CWDM
G.652 d	Fibra LWP y fibra de baja dispersión para PON
G.653	Fibra <i>dispersion-shifted</i> (obsoleta por G.655)
G.654	Para aplicaciones submarinas de larga distancia
G.655 a, b, c, d, e	<i>Non zero dispersion shifted fiber</i> NZDSF para largas distancias, DWDM, CWDM.
G.656	<i>Low chromatic dispersion fiber</i> para CWDM

5.5.1 Recomendación ITU-T G.652 [21]

La recomendación UIT-T G.652 se creó por primera vez en 1984; varias revisiones fueron realizadas con la intención de mantener el continuo éxito comercial de esta fibra en el mundo en evolución de los sistemas de transmisión óptica de alto rendimiento. Por esta razón se crearon diferentes categorías de fibras G.652 de la UIT-T, en la actualidad hay cuatro categorías A, B, C, y D, que se muestra en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Categorías de la fibra ITU-T G.652. [1][19]

Categoría	Características	Cobertura longitud de onda	Aplicaciones
G.652.A	Máx PMD=0.5 ps/ \sqrt{km}	1310nm y 1550nm regiones (bandas O y C)	Soporta aplicaciones tales como las recomendadas en G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10Gbps hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de la recomendación G.693.
G.652.B	Máxima atenuación especificada a 1625nm. Max. PMD=0.2 ps/ \sqrt{km}	1310nm, 1550nm y 1625nm regiones (bandas O y C + banda L)	Es compatible con algunas aplicaciones de mayor velocidad de bits hasta STM-64 descritas en las recomendaciones G.691 y G.692 y alguna aplicación STM-256 en G.693 y G.659.1. Dependiendo de la aplicación, la adaptación de la dispersión cromática puede ser necesaria.
G.652.C	Máxima atenuación especificada a 1383nm (igual o inferior a 1310nm). Max. PWD=0.5 ps/ \sqrt{km}	Desde la banda O hasta la banda C	Similar a G.652.A, pero este estándar permite la transmisión en porciones de longitud de onda ampliada desde 1360nm a 1530nm. Adecuado para sistemas CWDM.
G.652.D	Máxima atenuación especificada desde 1310nm a 1625nm. Máxima atenuación especificada a 1383nm (igual o inferior a 1310nm) Max. PMD=0.2 ps/ \sqrt{km}	Cobertura de banda ancha (desde la banda O hasta la banda L)	Similar a G.652.B, pero este estándar permite la transmisión en porciones de longitudes de onda ampliada 1360nm-1530nm. Adecuada para sistemas CWDM.

Esta recomendación describe una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión cero está situada en torno a 1310nm, por lo que se ideal para transmitir información a grandes velocidades en distancias medias y largas. Son fibras optimizadas para su uso en la región de longitud de onda de 1310nm, aunque también puede utilizarse en la región de 1550nm (donde

esta fibra no es óptima). Esta fibra puede ser utilizada tanto para transmisiones analógicas como digitales.

5.5.2 Recomendación ITU-T G.653 [22]

Esta recomendación describe una fibra monomodo de dispersión desplazada con una longitud de onda de dispersión nula nominal cercana a 1550nm y con un coeficiente de dispersión que aumenta monótonicamente junto con la longitud de onda. Esta fibra es optimizada para uso en la región de los 1550nm, pero también puede ser utilizada alrededor de 1310nm sujeto a las restricciones de la recomendación.

Algunas previsiones están hechas para soportar transmisiones a longitudes de onda superiores (1625nm) y por debajo de 1460nm. Los valores del coeficiente de dispersión cromática de estas longitudes de onda pueden ser especificados para soportar sistemas CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) que no tengan deterioro significativo debido a los efectos no lineales.

5.5.3 Recomendación ITU-T G.654 [23]

Esta recomendación describe una fibra óptica monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada alrededor de 1300nm con corte desplazado y pérdida minimizados a una longitud de onda en torno de 1550nm y que esta optimizada para ser usada en la región de 1530nm-1625nm.

Puede ser utilizada para aplicaciones de transmisión digital de larga distancia, tales como sistemas de líneas terrestres de larga distancia y sistemas de cables submarinos que utilizan amplificadores ópticos.

5.5.4 Recomendación ITU-T G.655 [24]

Esta recomendación describe una fibra óptica monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que cero en toda la gama de longitudes mayores que 1530nm. Esta dispersión reduce el crecimiento de los efectos no lineales que son particularmente perjudiciales en sistemas que usen multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM). Para longitudes de onda inferiores a 1530nm, el coeficiente de dispersión puede cruzar por cero, pero los valores del coeficiente de dispersión cromática a estas longitudes de onda puede ser utilizada para soportar aplicaciones de *Coarse Wavelength*

Division Multiplexing (CWDM) que no tengan deterioro significativo debido a efectos no lineales.

Estas fibras fueron originalmente diseñadas para uso a longitudes de onda entre 1530nm y 1565nm. Se añadieron disposiciones para soportar transmisiones a longitudes de onda entre 1460nm y 1565nm.

Este tipo de fibra fue designado para su utilización en sistemas DWDM con amplificadores ópticos operando a 1550nm. Es usada predominantemente por *carriers* de larga distancia.

Tabla 5.5. Categorías de la fibra ITU-T G.655. [1][24][25]

Norma	Características	Aplicaciones
G.655.A	Máxima atenuación especificada a 1550nm. $PMD_Q \text{ máximo} = 0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$.	Soporta transmisiones DWDM (G-692) aplicaciones en la banda C con hasta 200 GHz de separación entre canales.
G.655.B	Coefficiente de dispersión cromática en el rango de 1530nm a 1565nm, $D_{\text{mín}} = 0,1 \text{ ps/nm.km}$ y $D_{\text{máx}} = 10,0 \text{ ps/nm.km}$. Máxima atenuación especificada a 1550nm (0.35 dB/km) y 1625nm (0.4 dB/km). $PMD_Q \text{ máximo} = 0.5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$.	Soporta transmisiones DWDM (G-692) aplicaciones en la bandas C y L con hasta 100 GHz de separación entre canales.
G.655.C	Coefficiente de dispersión cromática en el rango de 1530-1565nm, $D_{\text{mín}} 0,1 \text{ ps/nm.km}$ y $D_{\text{máx}} 10,0 \text{ ps/nm.km}$. Máxima atenuación especificada a 1550nm (0.35 dB/km) y 1625nm (0.4 dB/km). $PMD_Q \text{ máximo} = 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$.	Similar a G.655.B, pero este estándar permite aplicaciones de transmisión en altas tasas de bits para STM-64 hasta longitudes de 2000 km, dependiendo del resto de elementos del sistema.
G.655.D	Coefficiente de dispersión cromática en el rango de 1460nm a 1625nm. Máxima atenuación especificada a 1550nm (0.35 dB/km) y 1625nm (0.4 dB/km). $PMD_Q \text{ máximo} = 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$.	Soporta aplicaciones mencionadas en G.655.C. Puede ser utilizada para soportar aplicaciones de CWDM.
G.655.E	Coefficiente de dispersión cromática en el rango de 1460nm a 1625nm. Máxima atenuación especificada a 1550nm (0.35 dB/km) y 1625nm (0.4 dB/km). $PMD_Q \text{ máximo} = 0.2 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$.	Soporta aplicaciones mencionadas en G.655.D, pero tiene valores más altos los cuales pueden ser importantes para algunos sistemas, por ejemplo para aquellos que presentan espacios de canal más pequeños.

5.6 RED ÓPTICA PASIVA (*Passive Optical Network, PON*) [1][26]

Como característica principal una red óptica pasiva permite eliminar todos los elementos activos existentes entre la oficina central y el cliente, reduciendo de esta forma

considerablemente los costos de mantenimiento, ya que elimina la necesidad de suministro de energía y administración de elementos activos en la planta externa.

Una red PON permite al cliente contar con un mayor ancho de banda y mejores servicios, al tener como medio de transmisión una única fibra óptica monomodo bidireccional y compartida, que mediante componentes ópticos pasivos (*splitter*) guían el tráfico por la red formando una red de acceso de bajo costo hasta el usuario final.

Los elementos que conforman una red PON son:

- OLT (Terminal de Línea Óptica): generalmente está ubicada donde el proveedor de servicio, provee la interfaz entre la red PON y los servicios de red del proveedor. La OLT es responsable de administrar, gestionar y sincronizar todo el tráfico desde y hacia los equipos terminales ONT.
- ONT (Terminal de Red Óptica): está ubicada en casa del usuario final, termina la red óptica pasiva y presenta en un formato adecuado la información destinada a un usuario determinado procedente de una OLT.
- ODN (Red de Distribución Óptica): es todo lo existente entre los equipos activos de una red PON. Consta de *splitters* ópticos, cable de fibra óptica, empalmes y conectores. Es la parte más importante a considerar en el diseño de una red PON

5.7 ARQUITECTURA FTTx [21]

Los avances en las tecnologías multimedia han llevado al desarrollo activo de muchos tipos de servicios de banda ancha tales como la entrega de datos, voz y vídeo (*triple play*). Las redes PON pueden proporcionar estos servicios de manera rentable.

La Figura 5.11 se indica las distintas clases de redes y su forma de acceso a los abonados.

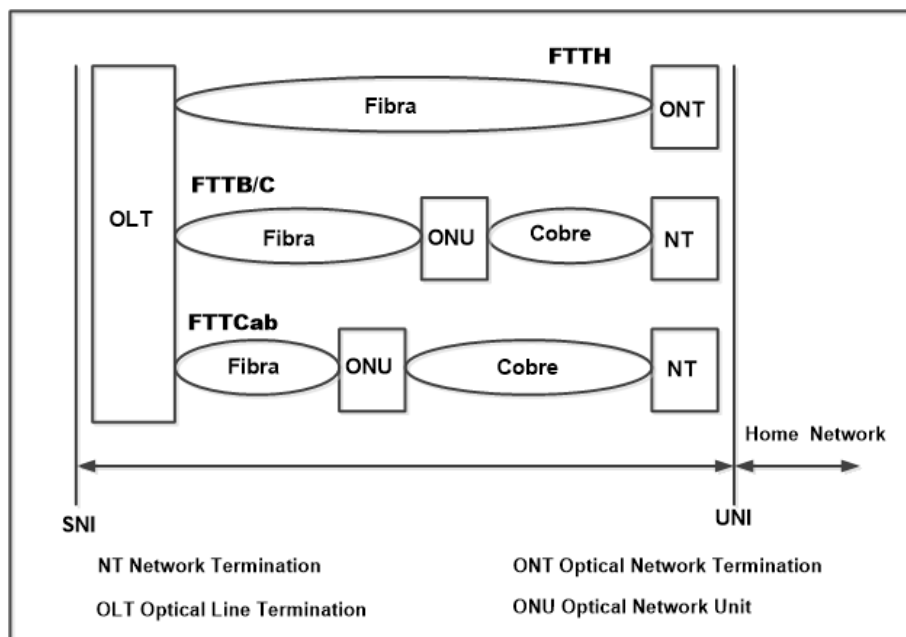


Figura 5.11. Redes FTTx. [B]

- FTTCab, una ONU es instalada a un lado de la calle. La conexión entre la OLT en la oficina central y la ONU se realiza a través de un enlace de fibra óptica, mientras que la conexión entre la ONU y las instalaciones del cliente se realiza usando las líneas de cobre de una red de distribución local existente.
- FTTB/FTTC, una ONU es instalada en una acera local o en el edificio (por ejemplo, en el sótano) donde se encuentran los clientes, es decir, sirve como una interfaz común para varios usuarios. La conectividad entre elementos individuales de la red se realiza exactamente de la misma manera que en el caso del escenario FTTCab descrito anteriormente.
- FTTH (*Fiber To The Home*): el enlace entre la OLT y la ONU es totalmente de fibra óptica, llegando hasta las instalaciones del cliente.

Las configuraciones de redes FTTCab, FTTB, FTTC, FTTH pueden soportar diferentes servicios como por ejemplo:

- 1) Servicios de banda ancha asimétricos (por ejemplo, servicios de difusión digital, vídeo bajo demanda (VoD), descarga de archivos, etc.);
- 2) Servicios de banda ancha simétricos (por ejemplo, difusión de contenidos, correo electrónico, intercambio de archivos, cursos a distancia, telemedicina, etc.);
- 3) Servicio telefónico ordinario y red digital de servicios integrados (ISDN).

5.8 ESTÁNDARES PON

A continuación se describen de manera breve los diferentes estándares PON.

5.8.1 Red óptica pasiva ATM (APON) [26][27]

APON usa el estándar ATM (Modo de transferencia asíncrona) como protocolo de señalización de la capa 2 (capa de enlace de datos).

APON basa su transmisión en el canal descendente en ráfagas de celdas ATM de 53 bytes cada una con 3 bytes para identificar el quipo ONU. Estas ráfagas se envían en tasas de transmisión de 155 Mbps, que se reparten entre el número de usuarios que estén conectados al nodo óptico, es decir, al número de ONU's existentes.

Su principal desventaja es su velocidad de transmisión inicial a 155 Mbps, que posteriormente aumento hasta los 622 Mbps. Tuvo corta vida.

5.8.2 Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (BPON) [29][30][31]

BPON (*Broadband Passive Optical Network*) es un estándar basado en APON pero con la característica de brindar soporte a otros estándares de banda ancha.

BPON permite de forma asimétrica alcanzar velocidades en el canal descendente de 155, 622 y 1244 Mbps y en el canal ascendente de 622 Mbps, mientras que de forma simétrica alcanza velocidades en el canal descendente y ascendente 622 Mbps.

BPON utiliza técnicas de multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexing*) que permite a los operadores proveer servicios adicionales sin interrumpir los sistemas BPON básicos, permite control y gestión de ONT, proporciona mecanismos de protección brindando servicios de alta fiabilidad, permite compartición dinámica de ancho de banda.

5.8.3 Red Óptica Pasiva Ethernet (EPON) [32][33]

Fue definido en 2004 por el grupo de trabajo EFM (*Ethernet in the First Mile*) constituido por la IEEE para aprovechar las características de la tecnología de fibra óptica y aplicarlas a Ethernet. EPON se basa en el estándar IEEE 802.3ah.

Esta tecnología a diferencia de las anteriores (APON y BPON) no transporta celdas ATM sino directamente tráfico Ethernet, lo cual, lo hace compatible con cualquier red del estándar IEEE 802.3, convirtiéndose en una solución atractiva para evitar el problema de los cuellos de botellas en las redes de acceso.

EPON presenta las siguientes ventajas:

- Velocidad de transmisión de hasta 1Gbps (dividida para número de usuarios que se interconectan a cada OLT).
- Gran alcance desde la OLT hasta el usuario final (20 km).
- Soporte para datos, voz y video.
- Ofrece QoS (Calidad de Servicio) en ambos canales (*downstream* y *upstream*).
- Incluye procedimientos de operación, administración y mantenimiento.

5.8.3.1 Topología de red EPON [34]

La topología básica de la red EPON se muestra en la Figura 5.12 y está constituida por los mismos componentes de una red PON genérica.

Los componentes básicos de la red de acceso EPON son:

- OLT (*Optical Line Terminal*): cabecera de red de la arquitectura EPON.
- *Splitter*: multiplexor pasivo óptico.
- ONU (*Optical Network Unit*): concentrador de tráfico de los usuarios finales.
- Clientes: terminales, servidores o redes LAN Ethernet.
- Enlaces de fibra óptica monomodo a 1 Gbps.

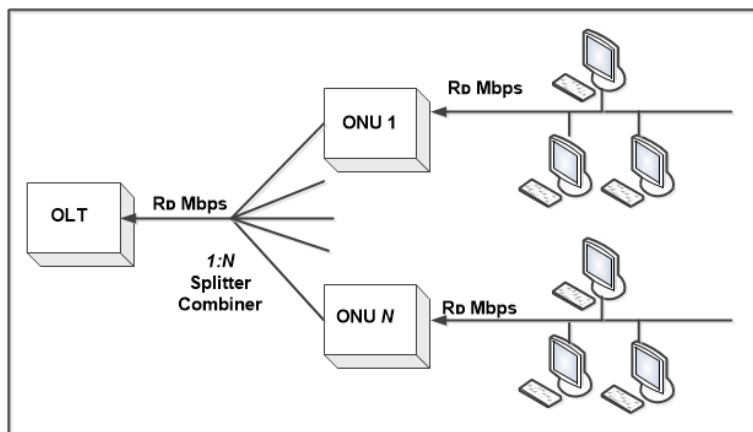


Figura 5.12. Topología de red EPON. [I]

5.8.3.2 Mecanismo de transmisión [26][34]

En el canal de descendente (*downstream*) EPON contempla una arquitectura punto-multipunto, es decir, las tramas Ethernet transmitidas por la OLT pasan a través de un *splitter* pasivo que se encarga de retransmitirlas hacia todas las ONU's, sólo la ONU destino extrae las tramas Ethernet si están marcados con el identificador de enlace propio (LLID, *logical Link ID*).

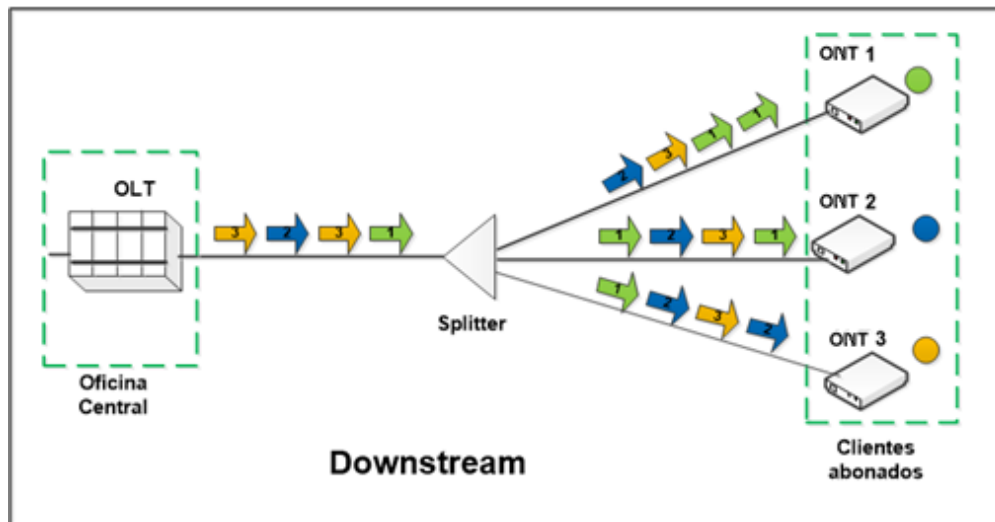


Figura 5.13. Transmisión *Downstream* en EPON. [J]

En la canal ascendente (*upstream*) las tramas Ethernet viajan exclusivamente desde cada ONU hasta la OLT, no alcanza otras ONU's. Este comportamiento se asemeja a una arquitectura punto-punto, con la diferencia de que aquí las tramas de diferentes ONU's pertenecen a un mismo dominio de colisión, es decir, los paquetes de datos de las ONU's transmitidas simultáneamente pueden colisionar. Por lo que EPON emplea el protocolo de control multipunto (MPCP) que es un mecanismo de arbitraje de canal para compartir la capacidad de canal sin colisiones de datos.

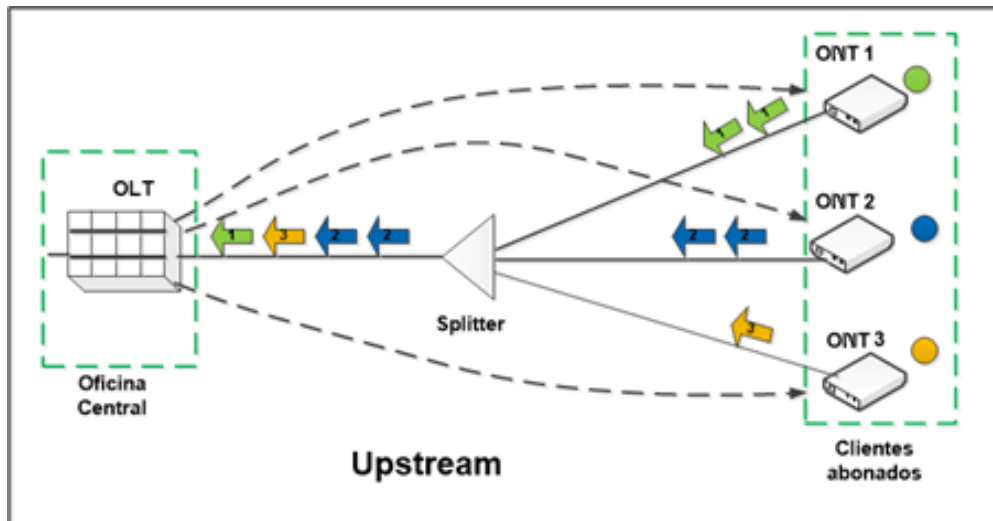


Figura 5.14. Transmisión *Upstream* en EPON. [J]

5.8.3.3 Protocolo MPCP (Multi-Point Control Protocol) [35][36]

Es un protocolo basado en MAC utilizado para controlar el acceso al medio. MPCP permite a la OLT asignar una ventana de transmisión a cada ONU mediante el intercambio de mensajes de control. MPCP controlar el tráfico de subida (multipunto a punto) mediante dos modos de operación:

- Modo de asignación de ancho de banda: para mantener comunicación entre la OLT y la ONU,
- Modo de auto-descubrimiento: detecta nuevas ONU's adicionales a la red.

En EPON la asignación de ancho de banda se basa en el envío y recepción de mensajes, *GATE* y *REPORT*.

Mensaje *GATE* es usado por la OLT para asignar la ventana de transmisión a una ONU, es decir, el comienzo y la duración de la transmisión de la ONU. Mensaje *REPORT* es usado por la ONU para hacer la petición de ancho de banda o reportar su estado.

Una vez que la OLT ha recibido todas las peticiones de las ONU's, calcula el ancho de banda que puede asignar a cada uno. La asignación del ancho de banda a las ONU's por parte de la OLT, se efectúa según el algoritmo DBA (*Dinamic Bandwidth Allocation*) que tenga implementado y que no forme parte del estándar sino que cada fabricante pueda elegir el que quiera. El uso del algoritmo DBA proporciona uso eficiente del ancho de banda, minimiza

pérdidas de paquetes, incrementa la velocidad de transmisión y además provee un mejor soporte de QoS.

5.9 GPON (*Gigabit-Capable PON*) [37][38][39][40][41]

GPON es una evolución de las redes BPON, está estandarizada por la IUT-T en un conjunto de recomendaciones G.984.x (x=1, 2, 3, 4, 5, 6,7) que describen las técnicas para compartir un medio común por varios usuarios, encapsular la información, gestionar los elementos de la red, entre otros aspectos. Estos estándares deben cumplir todos los fabricantes para garantizar la interoperabilidad de sus equipos. La siguiente tabla muestra el aporte de cada recomendación.

Tabla 5.5. Estándar G.984. [32]

Estándar	Descripción
984.1	Características generales de las redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabits.
984.2	Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.
984.3	Especificación de la capa de convergencia de transmisión.
984.4	Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica.
984.5	Banda de ampliación
984.6	Extensión del alcance
984.7	Largo alcance.

GPON ofrece un ancho de banda mucho mayor que las tecnologías anteriores APON y BPON, lo cual permite ofrecer a los clientes servicios que requieren gran ancho de banda como: HDTV (*High Definition Television*), VoD (*Video on Demand*), servicios de *streaming*, juegos de línea, etc.

Una de las principales características de GPON es su método de encapsulado, GEM (*G-PON Encapsulation Method*), el cual permite transportar cualquier tipo de servicio (Ethernet,

TDM, ATM, etc.), es un protocolo de encapsulamiento que garantiza la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.

En las redes donde se comparte el medio, es necesario establecer un mecanismo de asignación dinámica de ancho de banda (DBA) en redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (G-PON) es el proceso por el cual la terminación de línea óptica (OLT) asigna las oportunidades de transmisión en sentido ascendente a todas las unidades de red óptica (ONU) conectadas a ella.

Los beneficios prácticos de DBA son de dos tipos:

- En primer lugar, los operadores de redes pueden añadir más suscriptores a la red PON debido a un uso más eficiente del ancho de banda.
- En segundo lugar, los suscriptores pueden disfrutar de servicios mejorados, tales como las que requieren rangos variables con picos que se extiende más allá de los niveles que razonablemente se puede asignar de forma estática.

OMCI (Interfaz de Control y Gestión de la ONT) se utiliza para gestionar los servicios de redes PON y equipos ONT, los servicios de VoIP, opcionalmente, pueden ser administrados por medios externos al OMCI. Esto permite a los operadores una mayor flexibilidad en la elección de la forma de gestionar su servicio de VoIP en general, independientemente de la tecnología de acceso en cuestión.

Además, GPON implementa capacidades de OAM (*Operation Administration and Maintenance*) avanzadas, ofreciendo una potente gestión del servicio extremo a extremo. Entre otras funcionalidades incorporadas cabe recalcar: monitorizar de la tasa de error, alarmas y eventos, descubrimiento y *ranging* automático, etc.

Gpon utiliza el algoritmo de cifrado avanzado (AES).

5.9.1 Características de la red GPON [42][44][45]

Las principales características de GPON son las siguientes:

- GPON maneja velocidades mucho más rápidas que las anteriores tecnologías, ofreciendo hasta 2488 Mbps y la posibilidad de tener arquitecturas asimétricas.
- Máxima relación de división óptica hasta 128.

- Longitud de la fibra comprendida entre 10 y 20 km
- Seguridad mejorada mediante el uso del algoritmo de encriptación AES para los datos del usuario.

GPON maneja velocidades de transmisión mayores o iguales a 1244 Mbps, sin embargo en esquemas FTTH o FTTC que emplean tecnologías xDSL (*Digital Subscriber Line*) asimétrica, posiblemente no se necesite alta velocidad ascendente. GPON identifica 7 combinaciones:

Tabla 5.6. Estándar G.984. [42]

<i>Downstream [Mbps]</i>	<i>Upstream [Mbps]</i>
1244	155
1244	622
1244	1244
2488	155
2488	622
2488	1244
2488	2488

El alcance lógico se define como la longitud máxima que se puede alcanzar en un sistema de transmisión determinado, independiente del presupuesto óptico. Se mide en km y no está limitado por los parámetros PMD (*Physical Media Dependent*) sino más bien por la capa (TC, *Transmission Convergence*) y problemas implementación. El alcance físico es la distancia máxima entre la ONU/ONT y la OLT en GPON es de 20 km.

La *transmisión bidireccional* utiliza *multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing)* en una sola fibra o transmisión *unidireccional* en dos fibras.

El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de una sola fibra será 1480nm-1500nm.

El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de dos fibras será 1260nm-1360nm.

El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido ascendente será 1260nm-1360nm.

Para el tráfico *downstream* se realiza un *broadcast* óptico, aunque cada ONT solo será capaz de procesar el tráfico que le corresponde o para el que tiene acceso por parte del operador, gracias a las técnicas de seguridad (AES, *Advanced Encrypted Standard*). Para el tráfico *upstream* los protocolos basados en TDMA (*Time Division Multiple Access*) aseguran la transmisión sin colisiones desde la ONT hasta la OLT. Además, mediante TDMA solo se transmite cuando sea necesario, por lo cual, no sufre de la ineficiencia de las tecnologías TDM donde el período temporal para transmisión es fijo e independiente de que se tenga datos o no disponibles.

Una de las características principales de PON es la capacidad de sobresuscripción. Esto permite a los operadores ofrecer a los abonados más tráfico cuando lo necesiten y la red esté con capacidad ociosa, es decir, cuando haya otros abonados en el mismo PON que no están empleando todo su ancho de banda disponible. Esta funcionalidad se llama ubicación dinámica del ancho de banda o DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*) del PON punto a multipunto.

En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (internet, VoIP, IPTV, etc.) *downstream* (1490nm) y otra para el tráfico *upstream* (1310nm). Además, a través del uso de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*), se asigna una tercera longitud de onda (1550nm) que está dedicada para el *broadcast* de video RF (*broadcast* analógico, *broadcast* digital y HDTV, y video bajo demanda).

5.10 EPON y GPON [37]

Entre las principales diferencias entre estos estándares se encuentran que GPON considera configuraciones tanto asimétricas como simétricas. Las dos tecnologías tienen una diferencia bien marcada en el aspecto de la arquitectura. GPON ofrece redes complejas de la capa 2 basadas en el protocolo ATM y múltiples protocolos que hacen posible soportar la estructura de la tecnología. EPON usa simples redes de capa 2 utilizando IP para datos, voz y video. Existen diferencias en términos de eficiencia, alcance, ancho de banda, costo por usuario, gerenciamiento, protección, etc.

5.10.1 Ancho de Banda [37][28]

GPON ofrece tasas de transmisión de 1244 Mbps o 2488 Mbps en el canal *downstream* y tasa escalables desde 155 Mbps hasta 2488 Mbps en el canal *upstream*, frente a la tasa de transmisión de 1244 Mbps simétricos de EPON.

La eficiencia de los sistemas EPON es relativamente baja (73% *downstream*, 61% *upstream*), respecto a GPON (93% *dowstream*, 94% *upstream*), debido a que en EPON los encabezados son extensos en las tramas, lo cual, provocan baja eficiencia y consecuentemente, menor número de bit de carga útil (*payload*), haciendo que el ancho de banda útil sea mayor en GPON que en EPON y de esta manera ofrecer mejor servicio al usuario a un costo menor.

5.10.2 Sistema de gestión [28][38]

En cuanto a la gestión y administración de la red, EPON se basa en el protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*), reduciendo la complejidad de los sistemas de gestión de otras tecnologías, mientras que GPON implementa capacidades de OAM (*Operation Administration Maintenance*) avanzadas, ofreciendo potente gestión del servicio de extremo a extremo, facilitando de esta manera al operador la administración remota de los equipos de usuario.

5.10.3 Alcance [28]

GPON tiene un ratio *split* mayor de hasta 128, frente a los 32 de EPON, en otras palabras, EPON puede enlazar 32 usuarios (ONT) a una OLT, mientras que GPON enlaza 128 usuarios (ONT) a una OLT.

GPON tiene tres niveles de clasificación de potencia listada como clase A, B, B⁺, C, C⁺ frente a los de clase A y B de EPON, esto hace que el alcance lógico de GPON sea de hasta 60 km (con una diferencia máxima de 20 km entre los usuarios más lejanos y más cercanos) frente a los 20 km en EPON, razón por la cual GPON se adapta mejor a zonas rurales o ciudades con baja densidad de clientes.

5.10.4 Seguridad y Protección [37]

El proceso de encriptación AES forma parte del estándar ITU-T en las redes GPON, mientras que en las redes EPON no está definido en el estándar. GPON realiza la encriptación solo en

el canal de retorno, mientras que en EPON se realiza el proceso de encriptación en ambos sentidos de transmisión.

6 RED ACTUAL DE CINE CABLE TV

En este capítulo se hace una breve descripción de la actual infraestructura de la red de la empresa CINE CABLE TV en Milagro.

6.1 CINE CABLE TV MILAGRO [45]

Inició sus labores en el año 1995, en la ciudad de Tulcán Provincia del Carchi. En su inicio esta empresa se denominó TELVICABLE posteriormente fue llamado CARCHI CABLE, actualmente se la conoce con el nombre de CINE CABLE TV y brinda sus servicios a ciudades como San Gabriel, Ibarra, Quevedo, Babahoyo, Esmeraldas y Milagro.

La empresa CINE CABLE TV está ubicada en el cantón San Francisco de Milagro perteneciente a la provincia del Guayas. CINE CABLE TV Milagro dispone de una red de distribución de televisión analógica, que en su totalidad está conformada por cable coaxial de distintas capacidades ofreciendo transmisión de 54 canales.

CINE CABLE TV en Milagro ofrece a sus clientes el servicio de TV por cable mediante una red completa de cable coaxial, actualmente tiene 555 abonados, según datos publicados por la ARCOTEL.

El tener una red de cable coaxial implica muchas limitaciones como alto costo en mantenimiento de la red, largas cascadas de amplificadores de señal a lo largo de todo el recorrido de la red, acceso ilegal de usuarios no autorizados al servicio de TV por cable.

Estas limitantes que presenta la red actual de la empresa, hace que ésta, requiera el estudio del diseño de una nueva red mediante fibra óptica, para brindar un mejor servicio de TV por cable y ofrecer el servicio Internet a un mayor número de usuarios.

6.1.1 Cabecera [46]

La cabecera (*HeandEnd*) está ubicada en el centro geográfico de la ciudad en un punto céntrico del área de cobertura de CINE CABLE TV (Av. 9 de Octubre y Gracia Moreno), este es el centro de recepción donde se captan todas las señales requeridas mediante las antenas que están ubicadas en la terraza del Hotel Suites Don Juan, desde donde parte su red de cable coaxial. La siguiente figura muestra la ubicación de la empresa.



Figura 6.1. Ubicación geográfica de la empresa CINE CABLE TV. [K]

La cabecera es el área más importante de la red, ya que es donde se origina la señal que posteriormente reciben los clientes. Aquí están situados los sistemas y equipos responsables de receptor y distribuir las señales por la red hacia los abonados.

6.1.2 Red troncal [47][48]

La red troncal recibe la señal de la cabecera y la envía por el medio de transmisión a todas las zonas de distribución que abarca la red de cable. Su principal objetivo es cubrir grandes distancias manteniendo la calidad de la señal, esta tiene como infraestructura de construcción los postes de la ciudad, está ubicada debajo de la red de energía eléctrica y servicio telefónico. De la red troncal se desprende la red de distribución dependiendo del área de cobertura. El cable utilizado por la red troncal es cable coaxial (RG-500) de 75 ohmios, cuyo conductor en vez de ser una malla es un tubo de aluminio.

Debido a las pérdidas que ocasionan los diferentes elementos que conforma la red troncal es necesario utilizar amplificadores troncales colocados en cascada, la distancia entre ellos depende de la máxima frecuencia utilizada y de las características de atenuación del medio. Estos amplificadores compensan las pérdidas son los encargados de mantener la señal a lo largo de la red troncal con suficiente potencia, baja distorsión y bajo ruido. Generalmente se ubican cada 600 metros en la red de cable coaxial.

6.1.3 Red de distribución [47][48]

El propósito de la red de distribución es llevar la señal hasta las instalaciones del suscriptor, está formada por cable coaxial, fibra óptica o una combinación de ambas tecnologías, en este caso es de sólo cable coaxial (RG-11), cuya impedancia es de 75 ohmios con una pérdida de 7.18 dB por cada 100 metros para la frecuencia de 300 MHz (canal 36). La red de distribución se conecta al cable troncal mediante un “amplificador puente”, se implementa mediante canalización o en forma aérea, en este caso la red pasa frente a las casa junto a los cables de luz y de teléfono.

Si el nivel de la señal decrece debido a las pérdidas en el cable, *splitters*, acopladores y *taps* de los usuarios, es necesario colocar amplificadores de distribución, más conocidos como Line Extender, que incrementan el nivel de la señal de forma que llegue de manera adecuada al siguiente *tap*. Por lo general los extensores de línea están separados entre 100 y 300 metros, se utiliza un máximo de dos extensores de línea en cascada.

6.1.4 Red de acometida y terminal de usuario [48]

La red de acometida es el último tramo, llega a los hogares de los abonados, está conectada al *tap* de la red de distribución. La acometida es un cable coaxial de fácil manejo (RG-6) utilizado para llevar la señal desde el *tap* de la red de distribución hasta la casa del usuario.

A continuación se indica una breve introducción sobre la situación actual del servicio de TV Pagada en el Ecuador.

6.2 TELEVISIÓN PAGADA A NIVEL NACIONAL [49]

El sector de la Televisión Pagada en el mercado ecuatoriano es relativamente nuevo en relación a otros servicios de Radiodifusión brindados actualmente.

En la década de los años 80, Ecuador se da paso al servicio de Televisión Pagada a través de cable físico, siendo la empresa pionera TVCABLE. Los avances tecnológicos han dado lugar a que este servicio llegue a mayor número de hogares brindando a sus suscriptores una amplia variedad de canales.

En el Ecuador, actualmente existen tres modalidades que proporcionan el servicio de Televisión Pagada y estas son:

- Televisión por Cable Físico (TCF),
- Televisión Codificada Terrestre (TCT) y
- Televisión Codificada Satelital (DTH).

Según los datos reportados por ARCOTEL en noviembre del 2016, se ve claramente que servicio de Televisión por Cable ha desplegado una mayor infraestructura de estaciones, contando actualmente con 240 estaciones instaladas a nivel nacional, seguido de Televisión Codificada Terrestre 4 y Televisión Codificada Satelital con tan solo 7 estaciones.

Tabla 6.1. Número total de Sistemas de TV Pagada por modalidad. [50]

Año	Televisión Codificada Satelital (DTH)	Televisión Codificada Terrestre (TCT)	Televisión por Cable Físico (TCT)
2016	7	4	240

En la actualidad nuestro país presenta una tendencia creciente de la demanda del servicio de Televisión Pagada que ha permitido que el servicio tenga un grado de penetración de 30.13%, hasta septiembre del 2016, es decir que 30 de cada 100 personas acceden a esta prestación.

Este crecimiento ha hecho que se aumenten las ofertas de programación de televisión pagada dando como resultado la migración de los usuarios de canales de televisión abierta, hacia los canales de la televisión pagada a nivel nacional. El siguiente gráfico obtenido de la página oficial de la ARCOTEL, muestra claramente el crecimiento anual en el lapso comprendido desde el año 2003 al 2016.

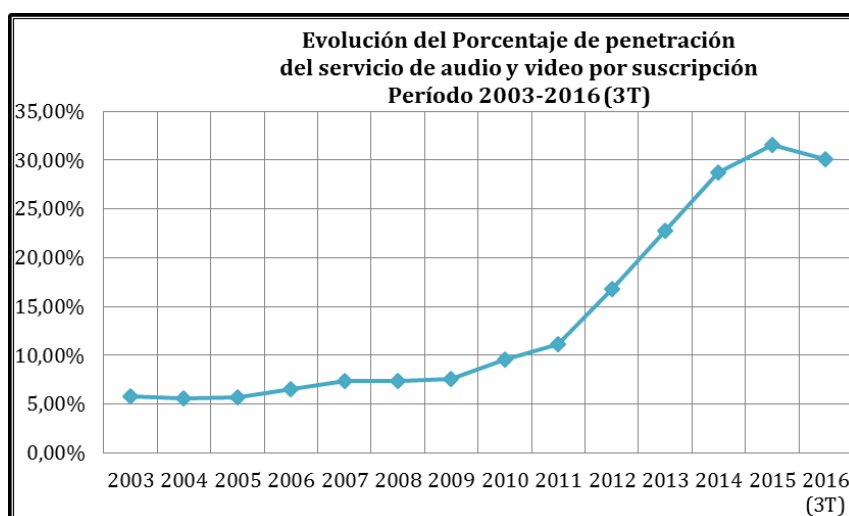


Figura 6.2. Histórico de penetración de Servicio de Suscripción TV Pagada. [L]

La presente investigación se limita al análisis del sector de las empresas de televisión por cable físico en la provincia del Guayas, específicamente en la ciudad de Milagro.

6.2.1 Servicio de Televisión por Cable [45]

La siguiente Figura 6.3 muestra que las provincias con mayor número de sistemas autorizados a nivel nacional que ofrece el servicio de Televisión por Cable son Guayas y Manabí cada una con 23 estaciones según datos reportados por ARCOTEL en noviembre del 2016.

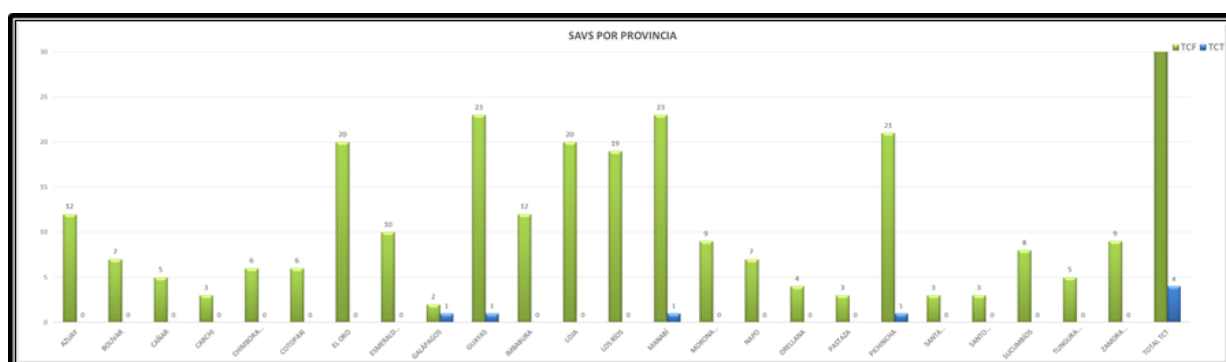


Figura 6.3. Sistemas de TV por Cable autorizados por provincia. [M]

En la siguiente tabla se presenta el nombre de las estaciones que brinda el servicio de Televisión por Cable Físico en la provincia del Guayas.

Tabla 6.2. Porcentaje de cuentas en la Provincia del Guayas para Televisión por Cable Físico. [51]

Nombre Estación	Septiembre	Porcentaje [%]
BALAO TV	298	0,57
CABLEEXPRESS	4265	8,14
CINE CABLE TV	555	1,06
DV TELEVISION	3545	6,76
MUNDO TV	189	0,36
NARANJITO TV	2988	5,70
SATELITAL TV	1708	3,26
STARTV (COMPAÑIA ELITETV S.A.)	1176	2,24
STARTV (STARTV CIA. LTDA.)	2881	5,50
TELEBUCA Y S.A.	364	0,69
TELMODER	694	1,32
TU TV	152	0,29
TV CAFA	1039	1,98

TV NET	27120	51,75
TV PACIFIC	2753	5,25
TVSAT BALZAR	1535	2,93
VISION PLAYAS S.A.	1143	2,18
Total de suscriptores	52405	100,00

De los datos mostrados en la Tabla 6.2, se ve claramente que la empresa CINE CABLE TV tiene 555 abonados que corresponde al 1.06 % del número total de usuarios en Guayas que cuentan con el servicio de Televisión por Cable Físico .CINE CABLE TV es una empresa de televisión por cable que brinda su servicio a la ciudad de Milagro a través de una red totalmente de cable coaxial.

7 DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA EMPRESA CINE CABLE TV

7.1 CONSIDERACIONES INICIALES [1]

En nuestro país la demanda de más servicios por parte de los usuarios, sumados al avance tecnológico, han hecho que las empresas consideren ofrecer servicios convergentes como “triple play”, es decir, el acceso de más usuarios a varios servicios a través de una misma infraestructura, lo cual implica beneficio económico para la empresa y mejor experiencia en velocidades de navegación para el usuario.

La convergencia tecnológica está provocando que los operadores de televisión por cable compitan directamente con los operadores de telefonía y proveedores de Internet. Una de las tecnologías que permite convergencia en la red de acceso es GPON, que es una tecnología de acceso pasiva mediante fibra óptica.

Es necesario indicar que el segmento de mercado hacia el que se enfoca el presente proyecto está formado por pequeñas y medianas empresas considerándose como parte de este segmento a hoteles, bancos, escuelas y colegios que están ubicados en la ciudad de Milagro.

La red de acceso GPON permitirá a CINE CABLE TV brindar servicios de banda ancha sin la necesidad de disponer de costosos componentes electrónicos activos en su planta externa, permitiendo de esta manera que el usuario final cuente con servicios seguros libre de errores con una alta capacidad de transmisión de datos.

Se debe entender y aplicar una estrategia basada en la densidad poblacional y tasas esperadas para determinar la mejor opción para requerimientos actuales y futuros.

Las fases de diseño de ingeniería y planeación son claves, consisten en transformar información de las condiciones, necesidades y requisitos actuales de cliente a la descripción de una estructura que las satisfaga, para lo cual se debe determinar el tamaño y número de áreas de servicios basados en las densidades presentes y futuras.

Cada diseño debe ser desarrollado para maximizar la eficiencia del mismo, aunque debe ser suficientemente flexible para manejar el crecimiento planeado.

7.2 ANÁLISIS DEL MERCADO [52][53]

Para el diseño eficiente de la red de acceso propuesta en este proyecto el estudio, se realizará en la zona urbana del cantón Milagro.

El cantón Milagro está conformado por las parroquias rurales de Chobo, Roberto Astudillo y Mariscal Sucre y la parroquia urbana de Milagro que a su vez es la cabecera cantonal.

Milagro está ubicada al sur oeste de Ecuador, con una área de 23.79 km² se constituye como la tercera ciudad a nivel poblacional y económico de provincia del Guayas.

El área urbana de esta ciudad se divide en cuatro parroquias: Chirijos, Camilo Andrade, Ernesto Seminario y Enrique Valdez.

Es importante mencionar que la parroquia urbana Chirijos representa la mayor densidad poblacional, siendo parroquias de menor densidad Ernesto Seminario y Enrique Valdez, mientras que la parroquia urbana Camilo Andrade representa la zona comercial bancaria de la ciudad.

Para lograr un diseño óptimo es necesario realizar una exitosa estimación de la demanda. CINE CABLE TV pretende ofrecer a la población el servicio de datos y video mediante la tecnología GPON de acuerdo a sus respectivas necesidades.

El servicio a ofrecer con la nueva red de acceso debe cumplir con las siguientes características: bajo costo, descarga rápida de archivos, mayor seguridad, mayor calidad del servicio, atención a mayor número de abonados.

A continuación se describe de manera breve las empresas que ofrecen el servicio de TV Pagada en la ciudad de Milagro.

7.2.1 CNT TV [54][55]

La corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP desde noviembre del 2011, cuenta con el servicio de TV satelital DTH (*Direct To Home*) residencial, dando cobertura de este servicio a los lugares más apartados de las ciudades.

El servicio CNT TV cuenta con más de 100 canales (nacionales e internacionales), regionales y señales de audio, sus planes van desde el básico Plan Súper, en definición estándar, que ofrece 71 señales, por \$ 15 más impuestos y planes en HD desde \$ 26 dólares más impuestos.

En la siguiente tabla se muestra el precio de algunos de los planes que ofrece la empresa para el servicio de TV Pagada.

Tabla 7.1. Precios del servicio de TV Pagada CNT TV. [55]

Plan	Número de canales	Tarifa mensual
Plan Súper	70 canales	\$ 19,67
Plan Entretenimiento	70 canales + 3 señales Fox + Premium	\$ 22,29
Promo Mega HD	70 canales plan súper + 15 canales HD + 15 canales HD de valor agregado	\$ 32,78

7.2.2 DIRECTV [56][57][45]

DIRECTV Ecuador es una empresa líder en brindar televisión satelital en el país, cuenta con 450.154 suscriptores que se encuentran distribuidos en todo el territorio ecuatoriano, ya que por su tecnología no tiene límite en cobertura.

En la siguiente tabla se muestra el precio de los planes que ofrece la empresa para el servicio de TV Pagada.

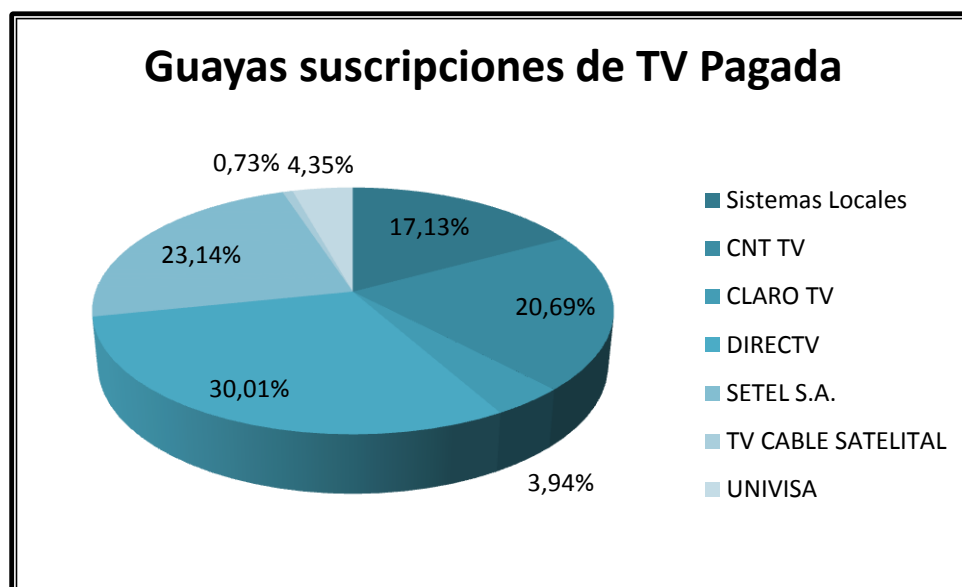
Tabla 7.2. Precios del servicio de TV Pagada DIRECTV. [57]

Plan	Número de canales	Tarifa mensual
Plan Familiar	85 canales (49 canales de video y 36 canales de audio)	\$ 22,90
Plan Bronce	98 canales (62 canales de video + 36 canales de audio)	\$ 27,90
Plan Bronce HD	134 canales (62 canales de video + 36 canales HD + 36 canales de audio)	\$ 32,58

En la provincia del Guayas y según las estadísticas publicadas por la ARCOTEL en septiembre de 2016, DIRECTV lidera el mercado con un 30,01%, seguido por SETEL S.A. con un 23,14% y CNT TV con un 20,69% como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 7.3. Suscripciones de TV Pagada en la provincia del Guayas. [45]

PROVINCIA	Sistemas Locales	CNT TV	CLARO TV	DIRECTV	SETEL S.A.	TV CABLE SATELITAL	UNIVISA
GUAYAS	53.945	65.177	12.414	94.537	72.884	2.314	13.700
Porcentaje[%]	17,13	20,69	3,94	30,01	23,14	0,73	4,35

**Figura 7.1. Porcentaje de suscriptores de TV Pagada en la provincia del Guayas. [N]**

7.2.3 CLARO TV [58]

CLARO TV brinda el servicio de televisión pagada satelital a la ciudad de Milagro, en la siguiente tabla se muestra el precio de los planes que ofrece esta empresa.

Tabla 7.4. Precios del servicio de TV Pagada CLARO TV. [58]

Plan	Número de canales	Tarifa mensual
Plan Claro TV 18	51 canales (7 canales nacionales + 10 canales de audio + 34 canales de programación variada)	\$ 23,60
Plan Claro TV 25	63 canales (7 canales nacionales + 10 canales de audio + 46 canales de programación variada)	\$ 32,78

7.2.4 CINE CABLE TV [59]

Es una empresa que brinda su servicio de TV Pagada mediante cable físico, razón por la cual muchas personas de la ciudad de Milagro optan por este servicio, ya que los costos que implica contratar el servicio de TV Pagada satelital son más altos.

Tabla 7.5. Precios del servicio de TV Pagada CINE CABLE TV. [59]

Plan	Número de canales	Tarifa mensual
Normal	54 canales	\$ 20,98

7.3 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE COBERTURA

El área de cobertura está limitada de la siguiente manera: norte con la Av. Amazonas, al sur con la Av. Gabriel García Moreno, al oeste con la Av. Pío Montufar y al este con la calle Rumiñahui y Crnel. Luis Vargas Torres.

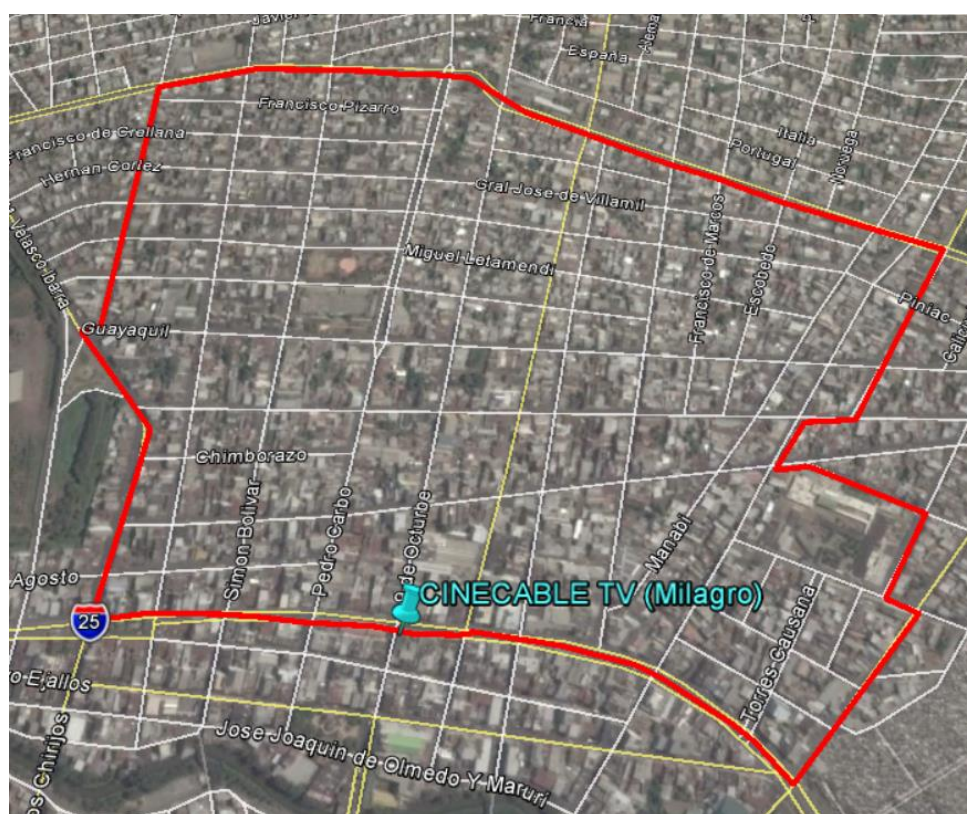


Figura 7.2. Área de cobertura de la Red GPON. [O]

En la Figura 7.2 se aprecia claramente el sector delimitado (línea roja) que corresponde al área de cobertura de la nueva red GPON y que tiene un área aproximado de 0,815 km².

7.4 ESTUDIO DE LA DEMANDA [60]

Se debe realizar un estudio técnico en el cual se analizarán las necesidades y posibilidades para atender diferentes sectores considerando características propias del mismo, como densidad poblacional, situación geográfica, requerimientos tecnológicos, entre otros, con el fin de establecer la necesidad y capacidad de tráfico requerido.

Para determinar la demanda actual y potencial del sector de estudio se realiza un modelo de encuesta (Anexo A), a través de la cual se reúne información sobre los servicios de telecomunicaciones actualmente instalados, empresas proveedoras, requerimientos de algún servicio, calidad del servicio e información adicional.

Fórmula para calcular el tamaño de la muestra [60]:

En base al número de abonados registrados y publicados por la ARCOTEL (555), que contratan el servicio de TV Pagada de la empresa CINE CABLE TV, se procede a determinar el tamaño de la muestra mediante la ecuación 7.1.

$$n = \frac{N\sigma^2 Z_{\alpha}^2}{\varepsilon^2 (N-1) + \sigma^2 Z_{\alpha}^2}$$

Ecuación 7.1[81]

Dónde:

N = tamaño de la población.

σ = desviación estándar de la población, generalmente se utiliza 0,5 si no se conoce su valor.

Z_{α} = nivel de confianza, generalmente se toma en relación al 95% de confianza que equivale a 1,96 o en relación al 99% de confianza que equivale a 2,58. En nuestro caso tomaremos el nivel de confianza en relación al 95,45% que equivale a 2.

ε = Límite aceptable de error muestral, varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09). En nuestro caso se utilizará el valor 0,05.

$$n = \frac{555 * 0,5^2 * 2^2}{0,05^2 (555 - 1) + 0,5^2 * 2^2}$$

$$n = \frac{555}{2,385}$$

$$n = 232,7$$

De acuerdo a este resultado se realizará un total de 233 encuestas en el sector seleccionado, las mismas que se realizan personalmente en la ciudad de Milagro, para de esta manera determinar el número de nuevos clientes.

7.4.1 Demanda Actual [61]

Esta demanda la conforman todas aquellas personas que cuentan actualmente con algún tipo de servicios de telecomunicaciones de cualquier empresa proveedora.

De los resultados obtenidos de las encuestas realizadas en la ciudad de Milagro específicamente en el área donde se pretende dar cobertura mediante la red de acceso GPON, se contabiliza el número de abonados actuales que cuenten con algún tipo de servicio de telecomunicaciones en el sector de estudio. En la Tabla 7.1 se detalla el resultado total de la demanda actual de los servicios de telecomunicaciones.

Tabla 7.6. Demanda actual de los servicios de telecomunicaciones. [59]

Servicio	Usuarios	Porcentaje [%]
Telefonía Fija	27	11,59
Internet	47	20,17
Tv Pagada	0	0,00
Telefonía +Internet	89	38,20
Telefonía + Tv Pagada	9	3,86
Internet + Tv Pagada	36	15,45
Telefonía + Internet + Tv Pagada	18	7,73
Ningún servicio	7	3,00
Sumatoria	233	100,00

En la Tabla 7.6 se aprecian los porcentajes de cada paquete, independientemente si uno o varios servicios son o no administrados por un mismo proveedor. Es importante aclarar que de las personas encuestadas nadie contrata sólo y únicamente el servicio de TV Pagada.

En las siguientes tablas se trata de cuantificar el porcentaje de usuarios que cuentan con los servicios de telecomunicaciones que forman el paquete Triple Play (Telefonía Fija, Internet y TV Pagada) en el domicilio del encuestado.

Tabla 7.7. Usuarios que disponen del servicio de Telefonía Fija. [59]

Telefonía Fija	Usuarios	Porcentaje [%]
Usuarios con servicio	143	61,37
Usuarios sin servicio	90	38,63
Total	233	100,00

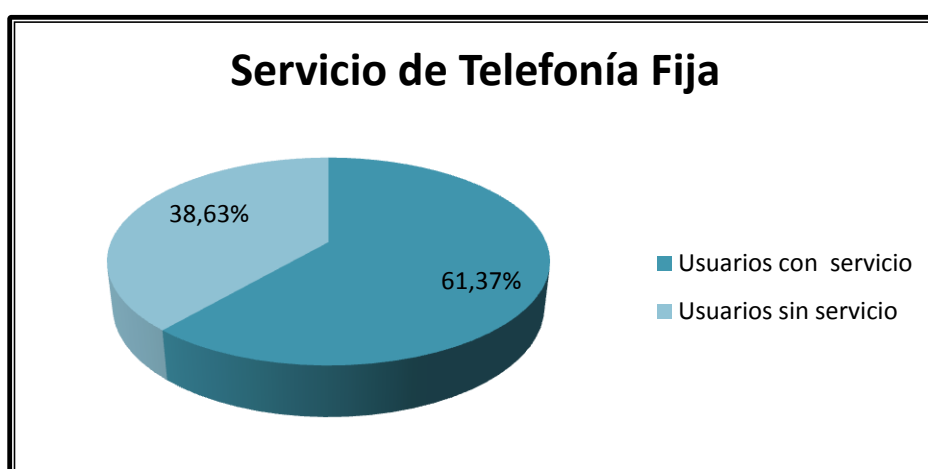


Figura 7.3 Porcentaje de usuarios que cuentan con el servicio de Telefonía Fija. [O]

Como se aprecia en la Figura 7.3 el porcentaje de personas que cuentan con el servicio de Telefonía Fija es del 61,37%, este valor se debe a que la cobertura de este servicio en la ciudad de Milagro en el año 2010 fue apenas del 23,09%, lo contrario ocurrió con la telefonía móvil que presentó una cobertura del 79.11% de hogares, donde por lo menos uno de sus miembros tiene este servicio. De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, en el lapso de una década, la telefonía móvil desplazó a la telefonía convencional.

Tabla 7.7. Usuarios que disponen del servicio de Telefonía Fija. [59]

Internet	Usuarios	Porcentaje [%]
Usuarios con servicio	190	81,55
Usuarios sin servicio	43	18,45
Total	233	100,00

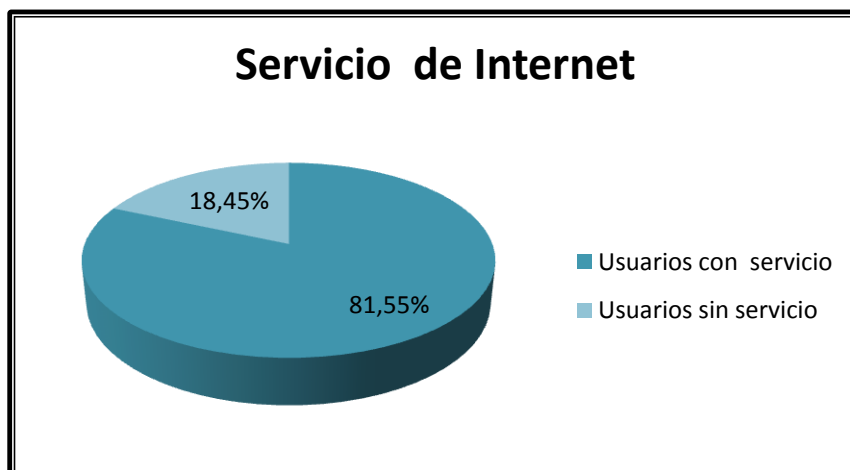


Figura 7.4. Porcentaje de usuarios que cuentan con el servicio de Internet. [O]

En la Figura 7.4 se aprecia que el 81,55% de las personas encuestadas cuentan con el servicio de internet, este valor elevado se debe a que el sector seleccionado es una zona de la ciudad de Milagro con alto índice comercial y empresarial.

Tabla 7.9. Usuarios que disponen del servicio de TV Pagada. [59]

TV Pagada	Usuarios	Porcentaje [%]
Usuarios con servicio	63	27,04
Usuarios sin servicio	170	72,96
Total	233	100,00

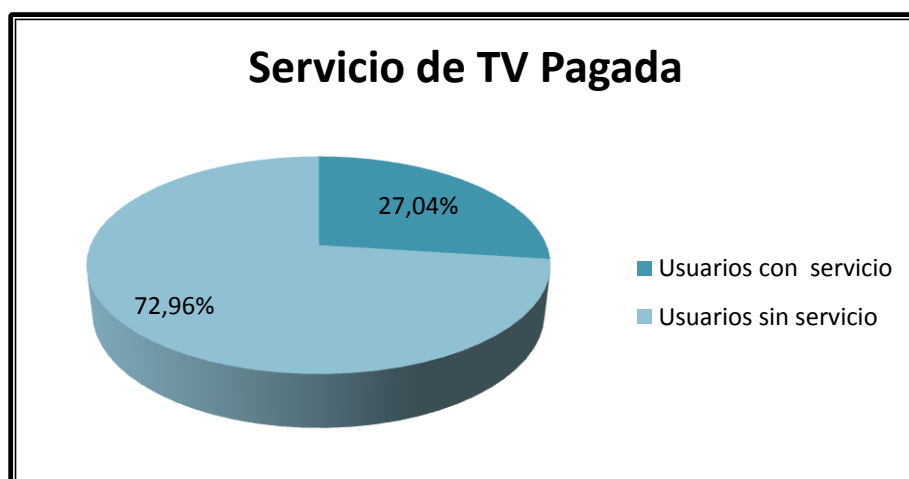


Figura 7.5. Porcentaje de usuarios que cuentan con el servicio de TV Pagada. [O]

Se observa en la Tabla 7.9 que el porcentaje de hogares que no cuentan con el servicio de TV Pagada es del 72,96%, valor considerable que se traduce a potenciales clientes.

Otro dato importante es que del total de personas que cuentan con este servicio, el 30,16% contratan Televisión por Cable a la empresa CINE CABLE TV, datos que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.10. Usuarios que contratan el servicio de TV Pagada a CINE CABLE TV. [59]

Servicio Tv Pagada	Usuarios	Porcentaje [%]
CINE CABLE TV	19	30,16
Otros Proveedores	44	69,84
Total	63	100,00

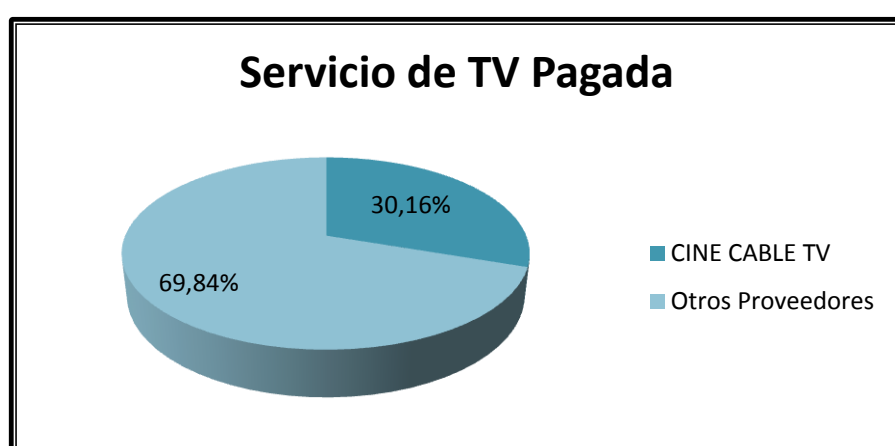


Figura 7.6. Porcentaje de usuarios que contratan el servicio de Tv Pagada a CINE CABLE TV. [O]

Otro factor importante para la estimación de la demanda es conocer el porcentaje de usuarios inconformes con su actual proveedor de servicios de telecomunicaciones, a ésta se le denomina demanda insatisfecha.

7.4.2 Demanda Insatisfecha [62]

Es aquella que incluye una de las demandas siguientes o su combinación:

Demanda no atendida: es aquella en donde parte de la población no reciben el servicio que requieren, en este caso son los usuarios que no cuentan con ningún servicio de telecomunicaciones.

Demanda atendida: es aquella donde se brinda un servicio a casi la totalidad del mercado, pero se satisface en forma parcial la necesidad identificada, en este caso son los usuarios que cuentan con el servicio, pero por diferentes factores como la baja velocidad en la transmisión

de datos, intermitencia en la señal, recepción de imágenes borrosas, programación monótona, demora en reparación del servicio, no están conformes con el servicio que le brinda su proveedor actual.

La ecuación para calcular la demanda insatisfecha es la siguiente:

$$demanda_insatisfecha = demanda_atendida + demanda_no_atendida$$

Ecuación 7.2

En la Tabla 7.11 se muestran los valores obtenidos con respecto a la demanda atendida y a la demanda no atendida.

Tabla 7.11. Demanda atendida y demanda no atendida. [59]

Demanda Insatisfecha				
Servicio	Demanda atendida		Demanda no atendida	
	Usuarios	Porcentaje [%]	Usuarios	Porcentaje [%]
Telefonía Fija	12	10,00	1	20,00
Internet	75	62,50	3	60,00
Tv Pagada	33	27,50	1	20,00
Total	120	100,00	5	100,00

En la Tabla 7.12 se muestra el porcentaje total de la demanda insatisfecha que corresponde al 53,65%.

Tabla 7.12. Demanda insatisfecha. [59]

Servicio	Demanda Insatisfecha	
	Usuarios	Porcentaje [%]
Telefonía Fija	13	5,58
Internet	78	33,48
TV Pagada	34	14,59
Total	125	53,65

La existencia de demanda insatisfecha es favorable para el proyecto, ya que mediante la nueva red GPON, se pretende satisfacer las necesidades de aquellos usuarios que no están conformes con sus actuales proveedores y aquellos que no tienen aún el servicio.

Actualmente en la ciudad de Milagro no existe ningún proveedor de servicios de telecomunicaciones que ofrezca el servicio dúo (TV Pagada + Internet) mediante una red

GPON, como se pretende en este proyecto. Por medio de las encuestas se logró obtener el grado de aceptación de los servicios de telecomunicaciones mediante fibra óptica. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 7.13. Aceptación de los servicios de telecomunicaciones mediante Fibra Óptica.
[59]

Servicio	Usuarios	Porcentaje [%]
Telefonía Fija	2	0,86
Internet	56	24,03
Tv Pagada	42	18,03
Telefonía +Internet	12	5,15
Telefonía + Tv Pagada	5	2,15
Internet + Tv Pagada	22	9,44
Telefonía + Internet + TV Pagada	90	38,63
Ningún servicio	4	1,72
Sumatoria	233	100,00

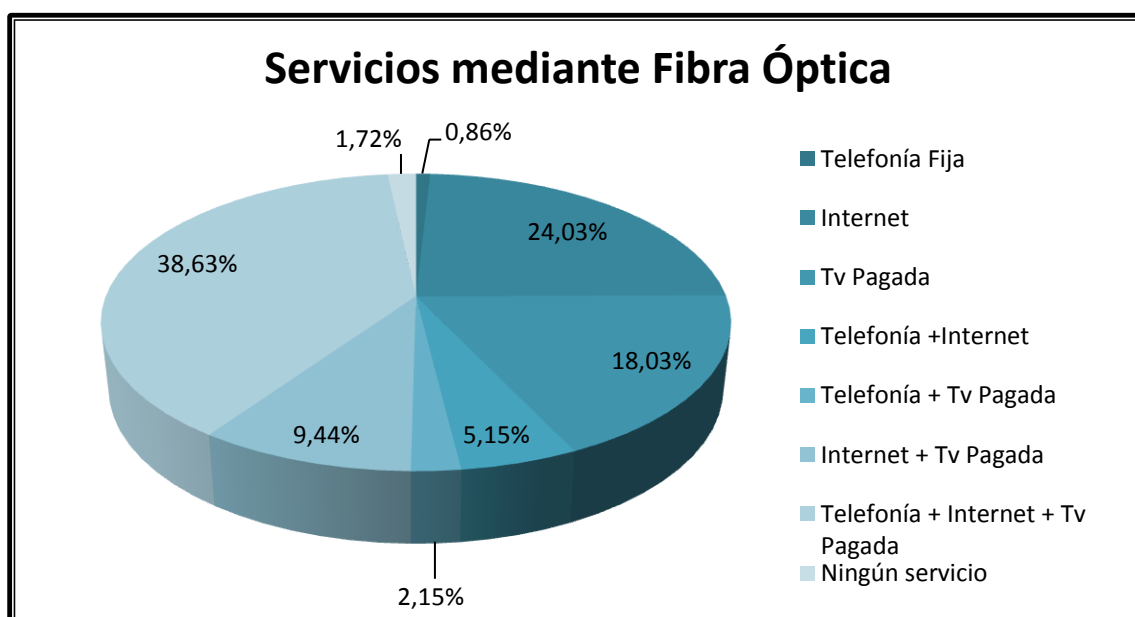


Figura 7.7. Porcentaje del grado de aceptación de los servicios de telecomunicaciones mediante Fibra Óptica. [O]

En la Figura 7.7 se aprecia el grado de aceptación de los diferentes servicios de telecomunicaciones, como es el caso de Internet, TV Pagada y el paquete dúo (Internet + TV Pagada) que son los servicios que la empresa CINE CABLE TV ofertará después de la implementación de su nueva red GPON.

El nivel de aceptación de los diferentes servicios se debe a la utilización de fibra óptica como medio de transmisión, lo cual implica ventajas como: mayor capacidad y velocidad en la transmisión de datos debido a su gran ancho de banda, inmunidad a interferencias electromagnéticas, mayor seguridad, mayor distancia en sus enlaces.

7.4.3 Demanda Proyectada [52][63][65]

Una vez ya definida la demanda actual y la demanda insatisfecha, se procede a obtener lo que representaría la demanda proyectada; esta demanda permite tener un estimado de los requerimientos de la red de acceso a futuro para un tiempo de 5 años, considerando el tiempo de vida útil de los equipos e introducción de nueva tecnología.

Se proyecta el mercado sobre una base de datos históricos, lo cual permitirá conocer los posibles futuros clientes de la empresa. En la siguiente tabla se muestra la proyección de la población de la ciudad de Milagro, según datos publicados por el INEC.

Tabla 7.14. Proyección de la población de la ciudad de Milagro. [52]

AÑO	TOTAL	URBANA	RURAL
2011	175528	140520	35008
2012	178319	142553	35766
2013	181093	144563	36530
2014	183848	146549	37299
2015	186581	148507	38074
2016	189289	150436	38853

Con ayuda de la información presentada en la tabla anterior de la población urbana de la ciudad de Milagro, se procede a calcular la tasa de crecimiento mediante la siguiente ecuación.

$$r = \left(\frac{P_f}{P_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Ecuación 7.3 Tasa de crecimiento poblacional. [64]

Dónde:

r = tasa de crecimiento en porcentaje

P_f = población futura

P_o = población inicial

n = período de años a proyectar

En la siguiente tabla se muestra el índice de crecimiento poblacional de la ciudad de Milagro obtenida mediante la ecuación 7.3.

Tabla 7.15. Tasa de crecimiento de la población de la ciudad de Milagro. [59]

Año	2012	2013	2014	2015	2016
Índice de crecimiento poblacional [%]	1,45	1,41	1,37	1,34	1,30

Partiendo de un valor inicial de 555 familias que corresponde al número actual de clientes que contratan el servicio de televisión pagada a la empresa CINE CABLE TV, según datos publicados por la ARCOTEL y en base al promedio de personas por hogar para la ciudad de Milagro de 3,68, según datos del INEC, se obtiene un total de 2042 personas, valor que nos permitirá conocer la población estimada del sector.

Mediante la fórmula del índice de crecimiento relativo y con los datos de la tabla 7.15, se procede a estimar el tamaño relativo de la población inicial, los mismos que se presentan en la Tabla 7.16.

$$i = \frac{P_f}{P_o}$$

Ecuación 7.4 Índice de crecimiento relativo. [80]

Tabla 7.16. Datos históricos de la población estimada del sector. [59]

Año	2012	2013	2014	2015	2016
Población estimada [Hab.]	544	789	1112	1524	2042

Posteriormente se estima la población futura del sector que se pretende dar cobertura mediante la nueva red para los siguientes 5 años, para ello se utiliza el Método de Regresión Lineal.

7.4.3.1 Modelo de Regresión Lineal [66][67]

Es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables, es un modelo óptimo para patrones que presentan una relación de linealidad entre la demanda y el tiempo, siendo este nuestro caso, razón por la cual se opta utilizar este método para estimar la demanda futura. A continuación se muestra la fórmula de regresión lineal.

$$y = a + bx$$

Ecuación 7.5 Regresión lineal. [66]

Dónde:

y = variable dependiente

x = período (0, 1, 2, 3 y 4)

a = intersección de y

b = pendiente

x*y = promedio

Esta ecuación nos permitirá encontrar la demanda futura, para ello se realizan los siguientes cálculos.

Tabla 7.17. Operaciones para encontrar valores de a y b. [59]

Año	Y	X	XY	X*X
2012	544	0	0	0
2013	789	1	789	1
2014	1112	2	2224	4
2015	1524	3	4572	9
2016	2042	4	8168	16
Totales	6011	10	15753	30

Mediante las siguientes sumatorias se puede encontrar los valores de a y b.

$$\sum y = Na + b \sum (x)$$

$$\sum xy = a \sum x + b \sum x^2$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$a = 456$$

$$b = 373,1$$

$$y = 456 + 373,1x$$

Ecuación 7.6

Reemplazando valores de x (5, 6, 7, 8 y 9) en la Ecuación 7.6, que corresponde a la fórmula de regresión lineal se obtiene la proyección de la población hasta el año 2021, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 7.18.

Tabla 7.18. Población estimada del sector hasta el año 2021. [59]

Año	2017	2018	2019	2020	2021
Población [Hab.]	2322	2695	3068	3441	3814

En base a los valores de población mostrados en la Tabla 7.18, se determina el número de familias, de las cuales se calcula el 53,65% que corresponde al porcentaje de demanda insatisfecha, obteniendo como resultado la demanda proyectada para el sector.

Tabla 7.19. Demanda proyectada. [59]

Año	Número de Familias	Porcentaje Demanda Insatisfecha [%]	Demanda Proyectada
2017	631	53,65	338
2018	732	53,65	393
2019	834	53,65	447
2020	935	53,65	502
2021	1036	53,65	556

Según los datos presentados en la Tabla 7.19 se observa que para el año 2017, los posibles clientes iniciales para la red GPON son 338 familias.

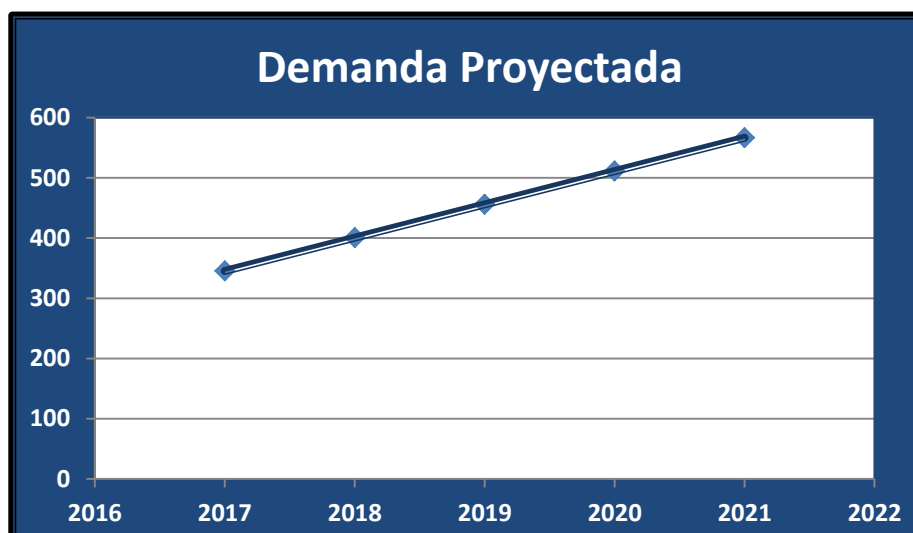


Figura 7.8. Crecimiento de la demanda proyectada. [O]

7.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

La planta externa denominada también red de distribución óptica (*ODN, Optical Distribution Network*), es la base de todo sistema de comunicaciones ya que constituye el medio de transmisión, es una de las inversiones más fuertes de la empresa debido a las distancias a cubrir, y a veces representa hasta el 70% del costo del sistema completo. Se considera el punto más crítico de comunicaciones, ya que está expuesto a factores externos (tránsito, accidentes, clima, descargas atmosféricas, etc.), una falla en la planta externa puede implicar la caída completa de toda una plataforma de comunicaciones. Se adapta a las rutas que la fibra óptica seguirá, considerando las no linealidades de las calles, avenidas, la existencia de ríos, etc.

En la siguiente figura se presenta el modelo de arquitectura GPON que consta de un equipo central, denominado OLT, que por medio de un divisor óptico (*splitter*) se conecta a los equipos finales, ONTs.

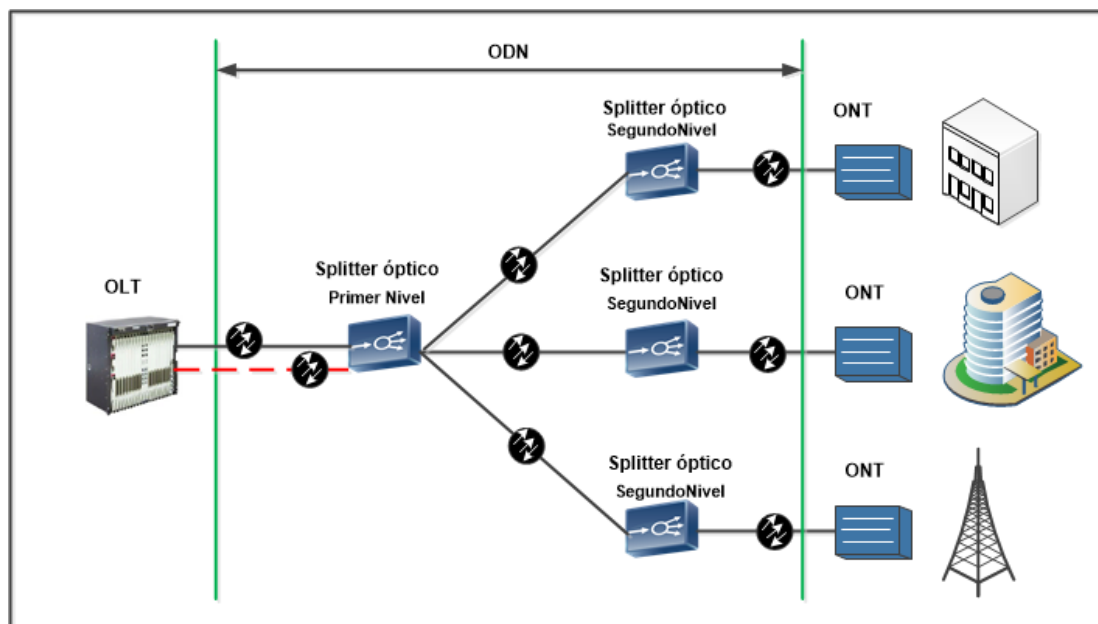


Figura 7.9. Arquitectura de una Red GPON. [P]

La zona de cobertura seleccionada, como se indicó anteriormente es el sector de centro norte de la ciudad de Milagro, que corresponde a zonas con mayor densidad poblacional.

A este sector se le pretende dar servicio a través de tecnología GPON, conectándose al nodo geográfico (cabecera) de CINE CABLE TV de la ciudad de Milagro con los demás puntos donde se colocará los *splitters* conectados a través de fibra óptica, de los cuales salen las diferentes fibras hasta cada uno de los usuarios finales.

Para realizar el diseño de la red GPON, se toman en cuenta algunas consideraciones generales, las cuales sirven como puntos importantes para que el diseño cumpla con los requerimientos de demanda presentados anteriormente, además de cumplir con normas específicas de diseño en la normativa de CNT EP. A continuación se detallan los puntos importantes que se deben tomar en cuenta.

7.5.1 Información Georreferenciada [61]

Es necesario contar con un plano base georreferenciado del sector a cubrir con la red, que contenga toda la información de planimetría, accidentes geográficos, planos de lotizaciones, postería en general, lo cual permitirá determinar distancias y ubicaciones exactas de toda la infraestructura de la red. Se verifica la ubicación de los postes de la empresa eléctrica ya que

el trayecto del enlace de fibra óptica se establece mediante la postería de distribución existente de cable coaxial.

Para un manejo más detallado se divide a todo el sector en 2 zonas, en las que se considera habrá diferente nivel de demanda de servicios. A continuación se describe cada una de las zonas:

Zona 1 (celeste): Esta zona está ubicada en la parte del centro-oeste de Milagro, se encuentra escuelas, colegios, hoteles, la estación del tren y sectores residenciales.

Zona 2 (rosado): En esta zona principalmente se encuentra el Hospital León Becerra de Milagro, su parte céntrica es altamente comercial, aquí están ubicados: bancos, locales comerciales, restaurantes, centros de salud.

En la Figura 7.10 se muestra el área de cobertura dividida en dos zonas.

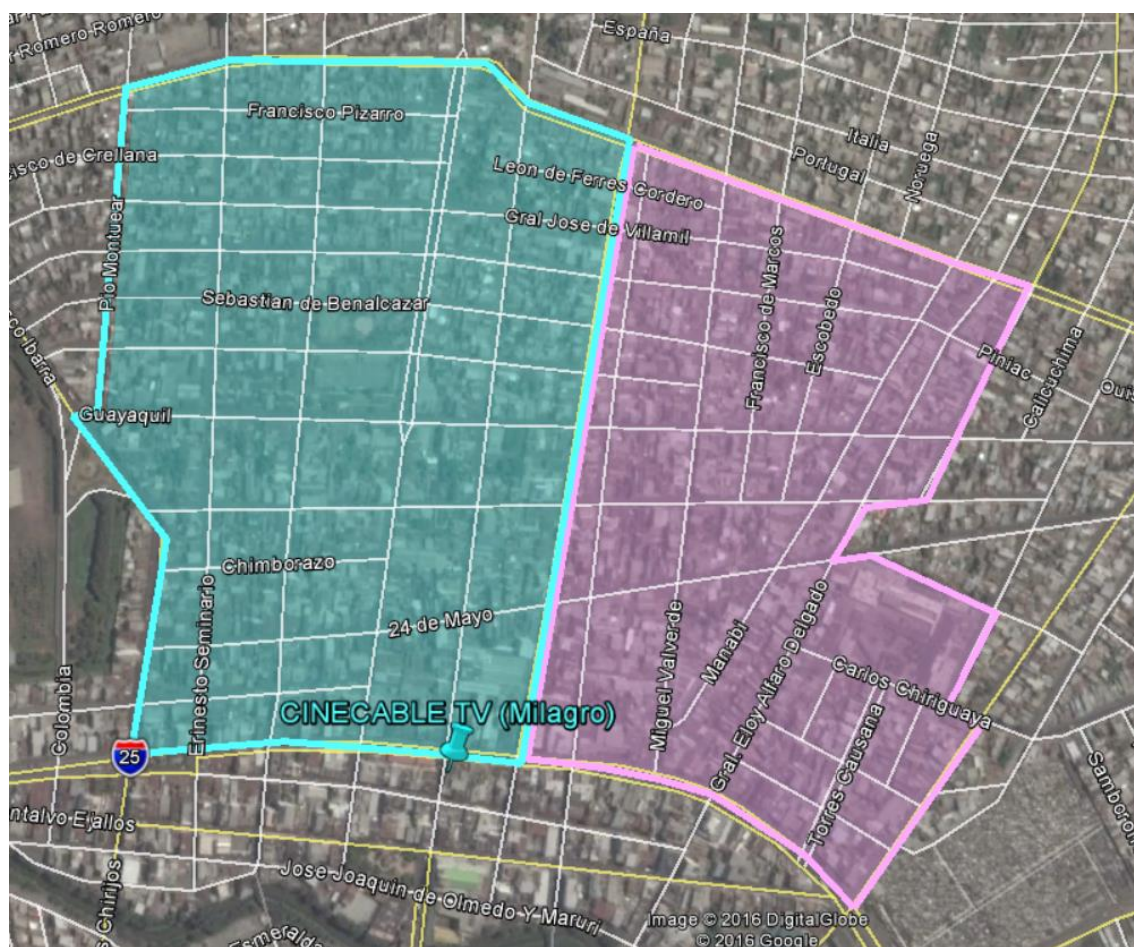


Figura 7.10. División del área de cobertura GPON en zonas. [O]

7.6 TOPOLOGÍA DE LA RED

Las tecnologías GPON permiten aplicar varias topologías de conexión que varían dependiendo de las distintas necesidades de las áreas urbanas densa suburbano/rural. Para el presente diseño de la red de acceso GPON se utilizará la topología en árbol, por ser de bajo costo y gran eficiencia.

La siguiente figura muestra la topología de la red GPON para la ciudad de Milagro.

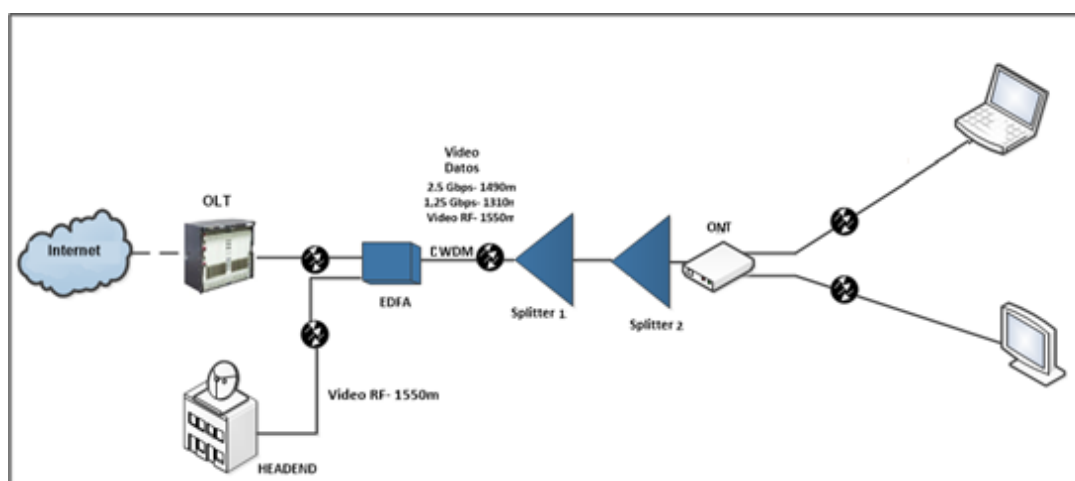


Figura 7.11. Topología de la red. [O]

7.6.1 Ubicación de la OLT [63][68]

En el diseño la OLT se ubicará en el nodo central, ya que se encuentra en un sector estratégico, permitiendo un mejor radio de cobertura, reducción de costos de mantenimiento y operación, con respecto a que si se la situara en otro lugar.

Actualmente la empresa CINE CABLE TV en Milagro cuenta con una red totalmente de cable coaxial, a través de la cual brinda el servicio de televisión por cable a sus abonados. La empresa cuenta con una cabecera (nodo principal), lugar en el cual se ubicará la OLT, la misma que alimentará a *splitters* primarios y estos a su vez conectan a varios *splitters* secundarios llegando finalmente a 338 usuarios finales, que corresponde al dato obtenido de la demanda proyectada para el año 2017.

La OLT es el punto central de la conexión, cada hilo de fibra que llega a las distintas ONTs, tendrá como punto de partida el cuarto de equipos (Cabecera) de la empresa CINE CABLE

TV ubicado en el Hotel Suites Don Juan y llegará hasta el usuario final a través de dos niveles de *splitteo*.

Para el diseño se utilizará una OLT que cuente con las siguientes características:

- Un puerto Gigabit Ethernet para que se conecte a un nodo de acceso de la red IP/MPLS de Claro.
- Se emplea una única OLT y 2 tarjetas GPON que cada puerto soporte hasta 64 ONU`s garantizando proveer acceso a la red a usuarios situados a distancias de hasta 20 kilómetros. Cada puerto de la tarjeta GPON se conectará a un ODF (*Optical Distribution Frame*) y de este a un *splitter* primario mediante un solo cable de fibra óptica.
- Una tarjeta de administración que permita supervisión y gestión de equipos central (OLT) y remoto ONT.
- Tarjeta de alimentación a 120 V.
- Soporte para trabajar con WDM, ya que GPON opera en las longitudes de onda de:
 - 1310nm para voz y datos, en conexión ascendente, desde el cliente a la central.
 - 1490nm para voz y datos, en conexión descendente, desde la central al cliente
 - 1550nm para video de RF, en conexión descendente.
- La OLT es la responsable de la asignación del ancho de banda a cada ONU, de acuerdo con los contratos establecidos. Para incrementar la eficiencia de la red y tener un reparto de recursos de una manera lo más justa posible, la OLT debe implementar un algoritmo de asignación de ancho de banda dinámica, en respuesta a los cambios en la demanda del tráfico en la red de acceso, esto se logra mediante un sistema de gestión adecuado, el mismo que almacene en un servidor la información de cada uno de los clientes, asigne servicios de acuerdo con los planes adquiridos, detección de fallas y su ubicación exacta, permitiendo incluso la solución de problemas menores.
- Tanto la OLT como la ONT deben ser del mismo fabricante debido a que aún no existe interoperabilidad entre fabricantes.

A continuación se describe las características técnicas principales de la OLT Alcatel-Lucent 7342 y de la OLT Calix E7-2 GPON-8.

7.6.1.1 ALCATEL-LUCENT ISAM FTTU 7342 P-OLT [69][70]

Alcatel-Lucent 7342 ISAM FTTU se basa en estándares de la FSAN, compatible con la tecnología GPON, ofrece cualquier combinación de servicios (voz, video, datos) sobre una sola fibra óptica que termina en la casa del abonado.

- Puertos de *uplink*: tarjeta controladora con 4 puertos de 1Gbps y un puerto de 10 Gbps.
- Puertos de consola puertos GPON: 4 puertos GPON por tarjeta.
- Tasa de transmisión: 2,5 Gbps *downstream* y 1,2 Gbps *upstream* sobre una sola fibra.
- Potencia de transmisión: según clase B+ de 1,5 dBm a 5 dBm.
- Pérdidas de ODN: según clase B+ de 13 dBm a 28 dBm.
- Factor de *splitting*: 1:32 por puerto GPON, 1:64 por puerto en distancias cortas.
- Longitudes de onda: 1310nm para voz y datos en *upstream*, 1490nm para voz y datos en *dowstream* y 1550nm para video.
- Administración: mediante el sistema de administración 5520 AMS (*Access Management System*).

Precio: \$ 50.000,00

7.6.1.2 ALCATEL-LUCENT I-220E INDOOR-ONT [70]

La ONT I-220E para interiores de Alcatel-Lucent está diseñada para proveer de banda ancha con velocidad de gigabits a los usuarios de la red. La ONT tiene las siguientes características:

- Puertos de servicio: 2 puertos POST con interfaces RJ-11, 2 puertos *Fast Ethernet* con interfaces 10/100Base-T.
- Puertos GPON: un puerto GPON SC.
- Tasa de transmisión: 2,5 Gbps *downstream* y 1,2 Gbps *upstream*.
- Potencia de transmisión: según clase B+ de 1,5 dBm a 5 dBm.
- Pérdidas de ODN: según clase B+ de 13 dBm a 28 dBm.
- Sensibilidad de recepción: -8 dBm a -27 dBm.
- Factor de *splitting*: 1:32 por puerto GPON, 1:64 por puerto en distancias cortas.
- Longitudes de onda: 1310nm para voz y datos en *upstream*, 1490nm para voz y datos en *dowstream* y 1550nm para video.
- Administración mediante OMCI, Alcatel-Lucent 5528, *Web-based Access Manager* (WAM), Alcatel-Lucent 5523 AWS (*Network Management System*).

Precio: \$ 330,00

7.6.1.3 OLT CALIX E7-2 GPON-8 [71]

Calix E7-2 es un módulo con dos ranuras, en las cuales se puede instalar tarjetas de línea E7-2 GPON-8, que ofrece ocho interfaces GPON compatibles con el estándar ITU G. 984, 4 puertos SFP admiten módulos ópticos de 1GE/2.5GE y de cobre 100/1000BaseT, 2 puertos SFP + que admiten módulos ópticos 10GE y GE. La tarjeta GPON-8 cuenta con las siguientes características:

- Tasa de transmisión de 2.5 Gbps *downstream* y 1.2 Gbps *upstream*.
- GEM (*Ethernet*) basado en GPON
- Soporte de hasta 1024 usuarios por módulo E7-2.
- ODN clase B+, presupuesto de enlace +28 dB, hasta 20 km con división de 1:32.
- Alcance extendido GPON hasta 40 km con división de 1:8.
- ODN clase C+, presupuesto de enlace 32 dB con corrección de errores FEC (*Forward Error Correction*), hasta 35 km con división de 1:32, hasta 60 km con división de 1:2.

Tabla 7.20. Especificaciones OLT CALIX E7-2 GPON-8. [71]

Especificaciones Físicas	
Dimensiones (WxHxL)	14x10,1x0,78 pulgadas (35,6x25,7x2 cm)
Peso	2,08 lbs (0,94 kg)
Puertos	8 puertos GPON
	4 puertos SFP admiten módulos ópticos 1GE/2,5GE y de cobre 100/1000BaseT
	2 puertos SFP + admiten módulos ópticos 10GE y GE
Especificaciones de Energía	
Disipación de potencia	75 vatios
Entorno Operativo	
Temperatura	40° a +65° C (-40°F a +149°F)
Humedad	10 a 95% (sin condensación)
Almacenamiento	
Temperatura	40° a +85° C (-40° F a +185°F)
Humedad	5 a 95%



Figura 7.12. Calix E7-2 Sistema de acceso modular. [Q]

Precio: \$ 30.000

7.6.1.4 ONT CALIX T076G [72]

La tarjeta E7-2 GPON-8 soporta toda la familia de ONTs de Calix, permite a los proveedores gestionar los cambios de servicio sin asistencia técnica en el sitio del abonado, mediante detección automática de las interfaces de red GPON. En la siguiente tabla se muestra las características de la ONT T076G.

Especificaciones Físicas	
Dimensiones	Alto: 1,61 pulgadas (4,1 cm)
	Ancho: 9 pulgadas (22,9 cm)
	Profundidad: 8,85 pulgadas (17,4 cm)
Peso	T076G: 24 onzas (680 g)
Interfaces Físicas	
PON	Un conector hembra SC/APC monomodo
Gigabit Ethernet	4 puertos Gigabit Ethernet 10/100/1000Base-T con conectores RJ-45
POST	2 conectores RJ-11
UPS	conector UPS de 8 pines
RF Video	conector F
Power	DC conector barrel
Botón de reinicio	botón empotrable
Especificaciones Eléctricas	
Potencia de entrada	100 – 240 VAC, 6 A, 50/60 Hz
Especificaciones Ambientales	
Temperatura	32° a 104° F (0° a 40°C) interior
Temperatura de almacenamiento	4° a 158° F (-20° a 70° F)
Humedad	5 – 90% RH (humedad relativa), sin condensación

Tabla 7.21. Especificaciones técnicas de la ONT CALIX T076G. [72]

Precio: \$ 100

De acuerdo a las características técnicas y tomando en cuenta el costo-beneficio de los equipos se ha seleccionado la OLT CALIX E7-2 y ONT T076G, ya que representa la mejor alternativa en cuanto a precios se refiere y a la vez cumple con las características técnicas que requiere la red en cuanto a velocidad de transmisión, número de puertos por tarjeta, capacidad de *splitting*.

7.6.2 Tendido de fibra [73][60]

Se utilizará un cable de fibra de estructura holgada, que consta de varios tubos de fibra rodeando un miembro central de refuerzo, y rodeado de una cubierta protectora. Varias fibras ópticas descansan holgadamente dentro de estos tubos de 2 o 3 milímetros, los cuales pueden estar huecos o llenos de gel resistente al agua que impide que ésta entre en la fibra.

Este tipo de cable es adecuado para el tendido aéreo, ya que el tubo holgado aísla a la fibra de fuerzas mecánicas externas que se puedan ejercer sobre el cable. Tiene un radio de curvatura mayor que los cables de estructura ajustada, proporciona mayor seguridad en cuanto al tendido, mantenimiento y detección de fallas.

Dependiendo de las características del sitio a instalarse, el tendido del cable de fibra óptica puede ser:

- canalizado o
- aéreo.

Las redes canalizadas se realizan en ductos, los cuales deben ser contruidos a lo largo de todo el trayecto que recorrerá la fibra, así como en canalización telefónica convencional conformada por ductos de PVC (cloruro de polivinilo) o cemento, pozo de bloques curvos, lozas y tapa a nivel de la acera o calzada. Presenta una serie de complicaciones como la construcción de los ductos en todo o gran parte del recorrido de la fibra, además de los requerimientos previos para la construcción como permisos de acceso, de construcción y costos adicionales.

El tendido aéreo se utiliza en lugares donde no existe canalización o su existencia presenta saturación de cables. En este proyecto, se realizará la instalación de cable de fibra óptica sobre postería de hormigón, ya que se tiene la ventaja de la existencia de postes a lo largo del

recorrido del cable. Este tipo de tendido facilita las tareas de mantenimiento, detección de fallas, instalación mucho más sencilla y menos costosa que el anterior.

Se debe verificar que la postería en las zonas de diseño brinde seguridad tanto en la fase de instalación como en la etapa de operación y mantenimiento. Se debe considerar un identificador por cada poste a lo largo de todo el trayecto aéreo.

Existen básicamente tres tipos de cables de fibra óptica aptos para el tendido aéreo:

- ADSS (*All-Dielectric Self-Supported*)
- OPGW (*Optical Power Ground Wire*)
- Figura en 8

Cable ADSS (*All-Dielectric Self-Supported*): cable auto soportado completamente dieléctrico, inmune a interferencias electromagnéticas, no susceptibles a descargas eléctricas (rayos), soporta tensiones mecánicas elevadas, adecuados para distancias medias y largas, son diseñados para ser instalados en los ambientes más exigentes desde el punto de vista eléctrico y ambiental, considerablemente más barato que el cable OPGW. Satisface requerimientos ITU-T G.652 y G.655, pueden ser instalados en vanos de 120m y 200m. [65][74]

Cable OPGW (*Optical Power Ground Wire*): cable de guarda con fibras ópticas, diseñado para ser instalado en líneas de alta tensión. Es un cable de tierra que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo, en el núcleo central del cable. Las fibras ópticas inicialmente se utilizaron para el control y protección de las líneas eléctricas o para comunicaciones a nivel local. Para estos fines era suficiente un bajo número de fibras (6 u 8). Sin embargo, hoy en día se instalan cables de 36 fibras o más debido a que el objetivo ha cambiado, ahora es el transporte masivo de información aprovechando la tecnología de comunicaciones ópticas y el derecho de vía de las líneas eléctricas a lo largo y ancho del país. Cumple con la norma G.655 de la ITU-T y otras normas. [65][75]

Figura en 8: cable de estructura holgada con mensajero de acero incorporado ideal para instalaciones de tendido aéreo. A diferencia de otros cables, presenta mayor área en su sección transversal, por lo que el elemento de apoyo externo y el cable óptico están físicamente separados por una franja de polietileno que aumenta el diámetro del cable. Su tubo holgado garantiza protección a las fibras, flexibilidad y rigidez ante curvaturas no apropiadas. Gracias a su mensajero de cable trenzado proporciona estabilidad y mayor fuerza

al cable. Soporta las recomendaciones G.652 y G.655 de la ITU-T, es recomendado para el tendido aéreo que presenta vanos largos. [60][76]

Tabla 7.22. Comparación entre cables de tendido aéreo. [63]

Característica	ADSS	OPGW	Figura en 8
Confiabilidad	Alta	Alta	Alta
Instalación en sistema nuevo	Simple	Simple	Simple
Instalación sobre sistema existente	Simple	Complejo	Simple
Mantenimiento	Fácil	Difícil	Fácil
Costo del cable	Bajo	Alto	Medio
Costo de instalación	Bajo	Alto	Bajo
Costo total del sistema	Bajo	Alto	Medio
Acceso a fibras ópticas	Fácil	Difícil	Fácil

De acuerdo con la información mostrada en la Tabla 7.22 se observa que el cable ADSS cuenta con mejores características en cuanto a costos se refiere con respecto a los cables OPGW y Figura 8, además presenta ventajas en mantenimiento, en acceso a las fibras ópticas, por lo que en el presente proyecto se decide trabajar con el cable de fibra tipo ADSS.

Para el tendido aéreo de fibra se utilizarán herrajes tipo A para el inicio y fin del trayecto aéreo (bajantes); postes donde el cable realice un ángulo menor a 180 grados; extremos de cruces de quebradas o ríos, herrajes de paso en postes en los cuales el cable de fibra óptica forme una línea recta (ángulo de 180 gados). Otro factor importante es identificar el cable aéreo de fibra óptica instalado, uno en cada poste utilizado en la ruta, estos identificadores deben ser metálicos o acrílicos con el texto grabado en bajo relieve.

Una vez elegido el cable de estructura holgada tipo ADSS, se elige que el tipo de fibra sea monomodo, ya que ofrece mayor capacidad de transporte de información a grandes distancias.

Existen varios tipos de fibra monomodo, pero la fibra que mejor comportamiento ofrece para redes que demandan gran ancho de banda y largas distancias son las fibras que cumplen con la norma G.655 que trabaja en el rango de 1530nm a 1565nm con un coeficiente de atenuación máximo a 1550nm de 0,35 dB/km y de 0,4 dB/km a 1625nm, pese que se ha

previsto que pueda soportar transmisiones en longitudes de onda en el rango de 1460nm a 1625nm, lo cual implica un mayor costo.

Las fibras que cumplen con la norma G.652 trabajan en el rango de longitudes de 1310nm a 1625nm con un coeficiente de atenuación de 0,4 dB/km mayor que el de las fibras G.655 que tienen un coeficiente de atenuación de 0,35 dB/km, lo cual implica que la fibra que cumpla con la norma G.655 son ideales para redes con altas tasas de transmisión y a grandes distancias, lo cual implica mayor costo, razón por la cual se opta por utilizar la fibra que cumpla con la norma G.652.

Dentro de esta recomendación G.652 se tiene cuatro subcategorías, mismas que se diferencian en función de la atenuación, del coeficiente de dispersión y por dispersión de modo de polarización como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.23. Subcategorías recomendación G.652. [19]

Característica	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
Atenuación a 1310nm [dB/km]	0,5	0,4	0,4	0,4
Atenuación a 1383nm [dB/km]			0,4	0,4
Atenuación a 1550nm [dB/km]	0,4	0,35	0,3	0,3
Atenuación a 1625nm [dB/km]		0,4		0,4
Máxima PMD _Q [ps/km ^{1/2}]	0,5	0,2	0,5	0,2
Coeficiente de dispersión cromática [ps/nm ² *km]	0,092	0,092	0,092	0,092

Las dos primeras categorías de la recomendación G.652 muestran un alto pico de atenuación debido a la presencia de iones hidroxilos OH^- originados por el vapor de agua que queda atrapado en la fibra durante su fabricación, mientras que la categoría G.652.C muestra un valor alto de coeficiente de dispersión en modo de polarización, razón por la cual la categoría G.652.D presenta mejores características con respecto a las anteriores, por lo tanto se elige esta categoría para el desarrollo del proyecto. A continuación en la Tabla 7.24 se muestra las características de esta fibra.

Tabla 7.24. Estándar G.652.D. [19]

Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 0.1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324nm
	$S_{0\text{máx}}$	0.092 ps/nm ² x km
Cable attributes		
Attenuation coefficiente	Maximum from 1310nm to 1625nm	0.4 dB/km
	Maximum from 1383nm \pm 3nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.2ps/ \sqrt{km}

7.6.3 Ubicación de *Splitters* [65][70]

Los *splitters* son los que más pérdidas introducen en la red GPON, permiten la distribución de la señal óptica en tantos caminos como su relación lo indique, es decir, una sola fibra óptica que sale desde un puerto de la tarjeta GPON puede llegar abastecer hasta a 64 ONUs diferentes según las recomendaciones ITU-T.

Se tiene dos modelos para la ubicación de *splitters*:

- Modelo centralizado: se tiene un solo nivel de *splitting*, puede está ubicado en la central o en un punto remoto, en ambos casos, presenta alto costo de despliegue por abonado, permite un fácil mantenimiento ya que reduce los puntos de posibles fallas, no permite expansión significativa de la red, ideal para áreas con alta densidad poblacional.
- Modelo Distribuido: los *splitters* son colocados en cascada hasta el usuario, es recomendable tener dos niveles de *splitter* como máximo, debido a que las pérdidas

aumentan y son perjudiciales para el enlace, presenta menores costos de despliegue por abonado, es ideal para zonas con alta penetración de mercado.

Se debe tomar en cuenta el alcance máximo para la ODN (*Optical Distribution Network*). La ITU-T especifica un alcance máximo de 20 km para los sistemas GPON. Se considera también las pérdidas por atenuación de la ODN, con el fin de obtener un correcto funcionamiento de los equipos. A continuación, en la Tabla 7.25 se presentan las clases para la ODN.

Tabla 7.25. Clases para ODN. [1]

Clasificación	Pérdidas permitidas para ODN
Clase A	5 - 20 dB
Clase B	10 - 25 dB
Clase B+	13 - 28 dB
Clase C	15 - 30 dB
Clase C+	17 - 32 dB

La atenuación máxima calculada en la ODN no deberá sobrepasar los 28 dB incluido el margen de seguridad de 3 dB por atenuaciones en la ODN según la Clase B+.

Esta red GPON utilizará el modelo distribuido, con dos niveles de *splitting* de 1:8 cada nivel. En la siguiente tabla se muestra el número total de *splitters* a utilizarse para dar cobertura a 338 usuarios, el detalle de la ubicación exacta de cada *splitters* se muestra en el Anexo C.

Zona	Número de <i>splitters</i>	Relación de división
1	38	1:08
2	34	1:08
Total <i>Splitters</i>	72	1:08

Tabla 7.25 Número total de *splitters*. [59]

7.7 CÁLCULOS DE ATENUACIÓN [61]

En base a los planos de distribución y dispersión realizados se define la longitud que tendrá cada trayecto, se puede realizar un cálculo de atenuación más apegado a la realidad, el diseño debe incluir las pérdidas introducidas por todos los elementos de la red, se debe considerar

también un margen de seguridad que se presentan por diversas causas y no son predecibles, con el fin de poder garantizar que el diseño de red GPON cubra todos los requerimientos de demanda que presenta el sector. En la siguiente figura se muestra el esquema de la ODN utilizado en este proyecto.

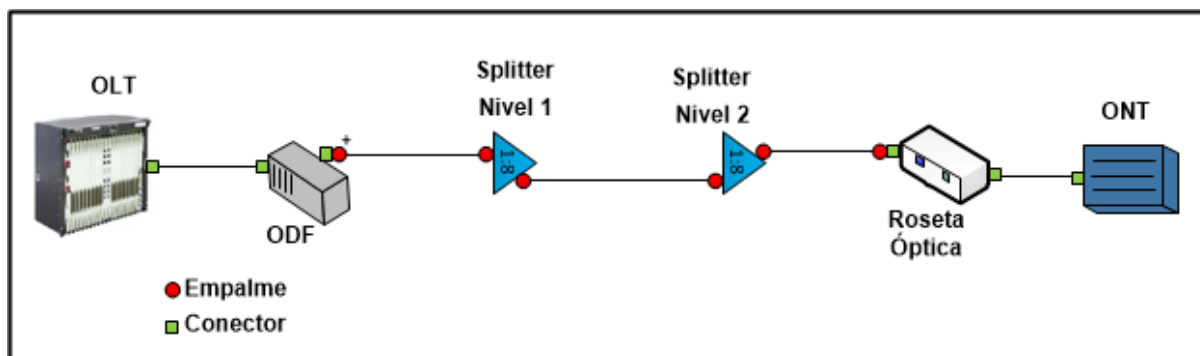


Figura 7.13 Esquema de la ODN. [R]

7.7.1 Atenuación del cable de fibra óptica [65]

Se debe a las características de fabricación propia de cada fibra (naturaleza del vidrio, impurezas, etc.) y se mide en dB/km, que indica cuantos dB se perderán en un kilómetro. El cable de fibra a utilizarse, será el que cumple con la norma G.652D, sus características se mencionan en el Anexo B, en el cual se especifican valores de atenuación a diferentes longitudes de onda, ya que se recomienda la medida de atenuación de un enlace de fibra óptica en dos ventanas como mínimo para asegurar la factibilidad que presenta la fibra al adaptarse a diferentes tecnologías para la transmisión de datos.

Mediante el plano georreferenciado se puede apreciar que el usuario más alejado se encuentra a 2123 metros de distancia, lo cual implica que la red GPON cubrirá toda la demanda del sector sin tener atenuaciones mayores a lo permitido, ya que la distancia de cobertura de GPON es de 20 km.

A continuación se realiza el cálculo de las pérdidas para los casos críticos de la nueva red, es decir, para el cliente más alejado y para el cliente más cercano con respecto a la OLT.

Pérdida en la fibra óptica con respecto al cliente más alejado de la OLT: se debe demostrar la factibilidad del enlace, es decir, que el usuario más alejado reciba un nivel de señal mayor a la sensibilidad de su ONT o equipo receptor.

- Para 1310nm:

$$A_f = 2,12km * 0,4dB / km$$

$$A_f = 0,85dB$$

- Para 1490nm:

$$A_f = 2,12km * 0,4dB / km$$

$$A_f = 0,85dB$$

- Para 1550nm:

$$A_f = 2,12km * 0,3dB / km$$

$$A_f = 0,64dB$$

Pérdida en la fibra óptica con respecto al cliente más cercano a la OLT: se debe garantizar que la potencia que reciba el cliente sea la adecuada para el correcto funcionamiento sus equipos, es decir, se necesitará una potencia menor para no saturar su fotodiodo.

- Para 1330nm:

$$A_f = 0,16km * 0,4dB / km$$

$$A_f = 0,064dB$$

- Para 1490nm:

$$A_f = 0,16km * 0,4dB / km$$

$$A_f = 0,064dB$$

- Para 1550nm:

$$A_f = 0,10km * 0,3dB / km$$

$$A_f = 0,048dB$$

Para cálculos de diseño se establecen los siguientes elementos considerados como puntos de falla en un enlace y que generan una atenuación en la transmisión de datos.

- Empalmes por fusión
- Interconexión (acopladores o *splitters* ópticos) y

- Elementos de conexión (*pigtails* y *patchcords*)

7.7.2 Atenuación por Conectores [1]

Los conectores ofrecen un medio mecánico para terminar fibra óptica hacia otras fibras y para activar dispositivos que conectarán transmisores, receptores y cables de enlaces operativos. Las pérdidas ocurren por un acople inexacto de las fibras y por la condición de las superficies de los extremos de la fibra. Los conectores cumplen con las siguientes tareas:

- Minimiza la pérdida óptica a través de la interfaz de las fibras acopladas.
- Provee protección mecánica y ambiental, además estabiliza a la unión acoplada.
- Minimiza reflexiones manteniendo el contacto físico entre las superficies de la fibra.

El número de conectores se establecen de acuerdo a las necesidades del proyecto y a los requerimientos del área técnica de cada empresa. Se utiliza un total de 6 conectores en todos los enlaces de fibra óptica, como se muestra en la Figura 7.13. Se utiliza el conector tipo SC, conector utilizado en equipos de comunicaciones de alta densidad, presenta una atenuación típica menor o igual de 0.15 dB y un valor máximo de atenuación de 0.3 dB. Estas pérdidas se calcularán utilizando el máximo valor de atenuación.

- Pérdida por conectores:

$$P_c = 0.3dB * 6$$

$$P_c = 1.8dB$$

7.7.3 Atenuación por *Splitter*

El *splitter* óptico es un dispositivo con una entrada y múltiples salidas, es el componente que más pérdidas introduce a la red. En la siguiente tabla se muestra los valores de pérdida de *splitter* según recomendación de la ITU-T G.671.

Tabla 7.26. Pérdidas por inserción para elementos de ramificación (*splitter*). [79]

Insertion loss requirements									
N	X	For normal reach				For extended reach			
		WR1		WR2		WR1		WR2	
		Min.IL (dB) (Note 10)	Max.IL (dB)	Min.IL (dB) (Note 10)	Max.IL (dB)	Min.IL (dB) (Note 10)	Max.IL (dB)	Min.IL (dB) (Note 10)	Max.IL (dB)
1	2	2.8	3.9	2.7	4.0	2.8	3.8	2.8	3.9
1	4	5.4	7.4	5.3	7.6	5.6	7.1	5.4	7.3
1	8	8.2	10.6	7.9	10.9	8.2	10.5	7.9	10.8
1	16	10.8	14.1	10.5	14.5	10.8	13.7	10.5	14.1
1	32	13.3	17.5	12.8	18.1	13.6	17.1	13.0	17.7
1	64	16.1	20.9	15.5	21.5	16.2	20.3	15.6	20.9
2	2	2.6	4.2	2.5	4.3	2.6	4.1	2.6	4.2
2	4	5.1	7.7	4.9	7.9	5.2	7.5	5.0	7.7
2	8	7.6	11.2	7.3	11.5	7.7	10.9	7.4	11.2
2	16	10.1	14.7	9.7	15.1	10.2	14.3	9.8	14.7
2	32	12.7	18.2	12.2	18.7	12.8	17.7	12.3	18.2
2	64	15.2	21.7	14.6	22.3	15.3	21.1	14.7	21.7

- Pérdida por *Splitter*

$$P_s = P_{s1} + P_{s2}$$

$$P_s = 10,6dB + 10,6dB$$

$$P_s = 21,2dB$$

En todos los enlace se tendrá un valor de atenuación de 21,2 dB de los *splitters*, ya que en ambos niveles de *splitting* se utilizan *splitters* de 1:8.

7.7.4 Atenuación por Empalmes [60]

Debido a que los cables se disponen en bobinas de longitud fija, para poder alcanzar las longitudes requeridas en la ruta del enlace, será necesaria la ejecución de empalmes. Los empalmes realizan la conexión óptica y mecánica de una sección del cable a otra, asegurando la continuidad mecánicas y electro-óptica del enlace.

Los empalmes de fibra óptica, deben ser por fusión, mediante una máquina fusionadora de fibra óptica apropiada y de alta precisión, de manera que la atenuación por empalme se menor que 0,1 dB.

Según la Figura 7.13 que representa el esquema de la ODN, se tiene 6 empalmes para todos los enlaces, debido a que los splitters utilizados son para fusión.

$$A_e = \text{atenuación}_{\text{empalme}} * \text{número}_{\text{fusiones}}$$

- Todos los enlaces tendrán el mismo número de empalmes.

$$A_e = 6 * 0.1 \text{ dB}$$

$$A_e = 0.6 \text{ dB}$$

7.7.5 Margen de seguridad [65]

Para cada enlace se considera un margen óptico de 3 dB (teórico) para prever futuras contingencias como: generación de nuevos empalmes, conectores sucios, ampliación en la longitud del enlace, etc.

7.7.6 Atenuación total [65]

Una vez que se ha calculado las pérdidas, se procede a sumar cada una de ellas, obteniendo la atenuación total tanto para el cliente más lejano como para el cliente más cercano.

$$A_t = A_f + P_c + P_s + A_e + M_s$$

Dónde:

A_f = Atenuación debido a la fibra óptica [dB]

P_c = Pérdida por conectores [dB]

P_s = Pérdida por *splitters* [dB]

A_e = Atenuación por empalmes [dB]

M_s = Margen de seguridad [dB]

Pérdida con respecto al cliente más alejado de la OLT:

- Para 1310nm:

$$A_t = A_f + P_c + P_s + A_e + M_s$$

$$A_t = 0.85 \text{ dB} + 1.8 \text{ dB} + 21.2 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 3 \text{ dB}$$

$$A_t = 27.45 \text{ dB}$$

- Para 1550nm:

$$A_t = A_f + P_c + P_s + A_e + M_s$$

$$A_t = 0,64dB + 1,8dB + 21,2dB + 0,6dB + 3dB$$

$$A_t = 27,24dB$$

Pérdida con respecto al cliente más cercano a la OLT:

- Para 1310nm:

$$A_t = A_f + P_c + P_s + A_e + M_s$$

$$A_t = 0,064dB + 1,8dB + 21,2dB + 0,6dB + 3dB$$

$$A_t = 26,66dB$$

- Para 1550nm:

$$A_t = A_f + P_c + P_s + A_e + M_s$$

$$A_t = 0,048dB + 1,8dB + 21,2dB + 0,6dB + 3dB$$

$$A_t = 26,65dB$$

7.8 BALANCE ÓPTICO DE LA RED GPON [77]

El balance óptico permite determinar si los equipos activos de la red GPON van a detectar y soportar la potencia de la señal que se propaga en el sistema, evitando daños en los mismos o sobrecarga de potencia.

En este punto del diseño es necesario tomar en cuenta los datos especificados por el fabricante del equipo OLT Calix E7-2 GPON-8 con respecto a la potencia del transmisor (P_t) que tiene un valor de 5 dBm y la sensibilidad del receptor (P_r) un valor de -27 dBm, los cuales cumplen con la especificación de la ITU-T G.984.2 Clase B+ (Tabla 7.27).

Tabla 7.27. Niveles de potencia óptica Clase B+ [33]

Parámetros clase B+	ONT	OLT
Mínima potencia media inyectada	0,5 dBm	1,5 dBm
Máxima potencia media inyectada	5 dBm	5 dBm
Mínima sensibilidad	-27 dBm	-28 dBm
Mínima sobrecarga	-8 dBm	-8 dBm
Degradación en sentido descendente	0,5 dBm	0,5 dBm

Para el cliente más lejano:

$$\begin{aligned}
 P_{Tx_mín_OLT} - A_i &\geq Sensibilidad_{Rx_mín_ONT} \\
 +1,5 - 27,45 &\geq Sensibilidad_{Rx_mín_ONT} \\
 -25,95dB &\geq -27dBm
 \end{aligned}$$

Para el cliente más cercano:

$$\begin{aligned}
 P_{Tx_máx_OLT} - A_i &\leq Sensibilidad_{Rx_máx_ONT} \\
 +5 - 26,66 &\leq Sensibilidad_{Rx_máx_ONT} \\
 -21,66dB &\leq -8dBm
 \end{aligned}$$

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos del presupuesto de potencia, se observa que en ambos casos considerados como críticos, se cumple con los parámetros requeridos para el normal funcionamiento de los equipos, por lo cual se garantiza un correcto funcionamiento de la red GPON.

7.9 COSTOS REFERENCIALES DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA [61][78]

El costo que la empresa deberá invertir para implementación de la red GPON se detalla en la tabla siguiente donde se indican los precios referenciales de los equipos necesarios para satisfacer la demanda proyectada.

Tabla 7.28. Presupuesto de los equipos para la implementación de la red. [59]

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO	TOTAL
1	Equipo OLT (tarjetas GPON)	1	30000,00	30000,00
2	Equipo ONT	338	100,00	33800,00
3	ODF 24 puertos (incluye pig tails SC/APC G 652.D)	1	436,14	436,14
5	Cable aéreo ADSS 24 hilos G.652.D vano 120m	9844,77	3,47	33361,36
6	Splitter 1:8	72	60,88	4383,36
7	Patch cords SC/APC de 3mts. G.652D	9	17,99	161,91
8	Manga aérea para fusión de 24 FO	4	384,89	1539,55
9	NAP aérea de 16 puertos SC/APC con derivación	36	403,68	14532,34
10				
				119014,65

Aproximadamente el beneficio económico que obtendrá la empresa CINE CABLE TV estará dado por el número de usuarios que van a utilizar la red y el costo mensual que se cobrará a

cada uno de ellos por los paquetes de servicios que se brindará, a esto se le restaría el costo de mantenimiento que se le dará a la red. En la siguiente tabla se muestra el ingreso mensual que recibiría la empresa por el abono de sus posibles usuarios.

Tabla 7.29. Ingreso mensual. [59]

Número de abonados	Costo mensual del servicio	Ingreso mensual	Costo mensual de mantenimiento	Ingreso mensual
338	\$ 40	\$ 13520	\$ 600	\$ 12920

En la siguiente tabla se muestra el ingreso anual que se obtendrá por los servicios que la empresa brinda a sus clientes.

Tabla 7.30. Costo-Beneficio al año. [59]

Número de abonados	Ingreso Anual	Costo Total de la Red de Acceso	Beneficio Primer año
338	\$ 155040	\$ 119014,65	\$ 36025,35

Según los datos mostrados en la Tabla 7.30, se aprecia que la inversión en este proyecto se recuperará en aproximadamente 9 meses, valor que se obtiene al dividir el costo total de la red de acceso para el ingreso mensual.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

En la ciudad de Milagro, las grandes empresas como DIRECTV, con una participación a nivel nacional del 34,48% presta sus servicios de Televisión Satelital, teniendo como debilidad el alto costo de sus servicios, por tal motivo gran cantidad de usuarios optan por empresas que brindan el mismo servicio mediante cable físico, esta debilidad permite que CINE CABLE TV ingrese y se poseione en el mercado de la TV Pagada y que actualmente sea la única empresa en querer mejorar su servicio mediante una red de acceso con tecnología GPON, con la cual podrá ofrecer un paquete dúo que consta de Internet + TV Pagada, el servicio de Telefonía Fija no se toma en cuenta en este diseño debido a que un gran porcentaje de pobladores de la ciudad de Milagro prefiere comunicarse mediante el servicio de Telefonía Móvil.

En la ciudad de Milagro se realizó el diseño de la red GPON en base al porcentaje de la demanda insatisfecha (demanda atendida pero no satisfecha + demanda no atendida) obtenida mediante la encuesta realizada a la población dentro del área de cobertura GPON; otro dato interesante de la encuesta realizada fue el grado de aceptación de los servicios de Internet y TV Pagada mediante fibra óptica, si se implementase la red de acceso GPON. La empresa CINE CABLE TV sería la única empresa en esta ciudad en brindar servicios con tecnología GPON, lo cual implica mejor experiencia por parte de sus clientes en cuanto a mayor velocidad en la transmisión de datos, mejor calidad en la recepción de las imágenes de video, servicio continuo sin intermitencia, mayor seguridad, etc.

Mediante la utilización de un plano georeferenciado de la ciudad de Milagro se logró obtener distancias más acordes con la realidad del recorrido de fibra en toda la red, en cada uno de sus trayectos desde la OLT hasta cada uno de sus clientes; también fue de gran utilidad en la ubicación de los *splitters* ya que nos permite apreciar de manera visual la distribución de los mismos y constatar que toda el área de diseño quede cubierta por la red GPON, dando como resultado la optimización de la cantidad de cable de fibra óptica por los costos que esta implica, lo cual se traduce en conocer si el presente proyecto es viable, eficiente y competitivo.

Una red GPON implica grandes beneficios tanto para el usuario como para el proveedor del servicio, por ejemplo, el usuario obtiene mayor calidad del servicio contratado, mejores

precios, mientras que para el proveedor representa ofertar servicios de alta calidad, llegar a mayor número de usuarios, gran escalabilidad de la red, ahorro energético y en espacio, operación de mantenimiento sólo en los dos extremos (OLT y ONT) y por medio de un reflectómetro se llega a conocer incluso la distancia a la cual existe daño en la fibra.

En la realización de este proyecto se aprecia las ventajas de la fibra óptica como medio de transmisión, logrando alcanzar hasta 20 km de distancia mucho mayor que las alcanzadas con el cobre de 80 a 100 m y con ADSL en unidades de km, mayor tiempo de vida aproximadamente de 15 a 25 años, lo cual hace que la infraestructura sea muy duradera, no presenta interferencias electromagnéticas por lo tanto la señal que viaje por ella no se ve afectada, alto grado de seguridad en la transmisión de datos por ejemplo en el tendido de fibra fácil detección de ataques *man-in-the-middle* o de alguna rotura, por todas estas ventajas se considera a la fibra óptica como el único medio de transmisión capaz de brindar servicios de voz, datos y video de muy alta calidad.

En base al presupuesto referencial de costos se conoce que la empresa recuperará la inversión realizada en implementar la red GPON en un lapso de 9 meses.

Se diseñó la red GPON para que sea flexible siempre, pesando en el crecimiento de la empresa y en el incremento del número de abonados, para ello se dejó reservas en los *splitters* de esta forma se realizaría la instalación para nuevos usuarios de forma inmediata, también se deja reserva de un 15% en el tendido de fibra por si en un futuro existe algún contratiempo y sufra un daño el cable, para que de esta forma se pueda solucionar el inconveniente lo más pronto posible.

8.2 RECOMENDACIONES

Se recomienda contar con un plano georeferenciado que contenga información confiable como la ubicación correcta de hospitales, bancos, escuelas, ríos, puentes, postería, esto permitirá realizar un análisis más cercano a lo real y reducir el error en cuanto el cálculo de distancias, que se pueda tener en el diseño de la red evitando gastos excesivos en materiales.

Se recomienda realizar un análisis de pérdidas en el enlace diseñado, lo cual permitirá conocer mediante un balance de potencia, si el enlace es factible o no, por lo tanto se debe asegurar que los valores utilizados para calcular el presupuesto de pérdidas sean prácticos, para ello se recomienda revisar el estándar G.671, donde especifican valores mínimos y máximos de pérdidas por inserción (*splitters*) además se debe tomar en cuenta también las pérdidas permitidas para ODN, las mismas que se especificadas en la norma ITU-T G.984.2.

Todo diseño debe realizarse tomando en cuenta las peores condiciones como por ejemplo utilización del máximo valor de pérdidas por inserción, menor potencia emitida por la OLT, menor potencia de recepción por parte del ONT, con el fin de garantizar que la red aún en las peores condiciones de trabajo seguirá funcionando.

Es recomendable contar con un modelo de encuesta, que nos permita: conocer la demanda actual de los servicios de telecomunicaciones en el sector, determinar el grado de aceptación por parte de los usuarios hacia un determinado servicio, establecer requerimientos y necesidades del usuario, para dimensionar la demanda de la red.

Se recomienda mayor control por parte de la Agencia Nacional de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), debido a que la piratería es un problema de competencia desleal que afecta tanto al estado como a las empresas proveedoras del servicio legalmente constituidas, además es importante tener estadísticas que vayan de acuerdo con la realidad del número de abonados con los que cuentan cada empresa, para realizar un diseño más cercano a la realidad.

Se conoce extraoficialmente que por problemas suscitados en la empresa CINE CABLE TV es posible la reubicación de su *HeadEnd*, si esto sucediera los criterios de diseño descritos en este proyecto se mantendrían.

BIBLIOGRAFÍA

INTERNET

[3] Fibra Multimodo

<http://www.newlink-usa.com/uploads/specs/Guia%20de%20Fibra%20Optica.pdf>

[4] Fibra Multimodo de Índice Escalonado

http://www.itlalaguna.edu.mx/academico/carreras/electronica/optica/optopdf7_archivos/unidad7tema2.pdf

[5] Fibra multimodo de Índice Escalonado

<http://iraniiiaavendano.blogspot.com/2015/05/medios-opticos.html>

[8] Parámetros de Transmisión

<http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/Intro duFO2.pdf>

[9] La Atenuación de la Fibra Óptica

<http://lafibraoptica peru.com/la-atenuacion-de-la-fibra-optica/>

[15] Estudio de la Atenuación en la Fibra Óptica

<http://www.tel.uva.es/personales/lco/pdfs/practica2.pdf>

[18] Fibra Monomodo de Dispersión Desplazada

http://www.palermo.edu/Archivos_content/ingenieria/Libro-Fibra-optica-hasta-el-hogar-Cap2y10.pdf

[20] Efectos de la Dispersión por Modo de Polarización (PMD) en la Propagación de Pulsos a través de Fibras Ópticas.

<http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v15n3/art14.pdf>

[22] *Praxtel Telecommunications* – Rendimiento de la Fibra

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf/cordones-fibra-optica-patchcords/cordones-fibra-optica-patchcords.pdf>

[26] Diseño de una Red Óptica Pasiva de Acceso Para una Urbanización Ubicada en la Vía Samborondón.

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/15949/1/Dise%C3%B1o%20de%20una%20Red%20%C3%93ptica%20Pasiva%20de%20Acceso%20para%20una%20Urbanizaci%C3%B3n%20Ubicada%20en%20la%20V%C3%ADa%20Samborond%C3%B3n.pdf>

[27] Tecnologías de Redes PON

http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APON_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf

[28] Ing. Gallegos Pablo, Ing. Serrano Andrés. (2010). Estudio de Factibilidad y Planificación Estratégica de Mercado para un Operador Entrante del Servicio de Internet de Banda Ancha en la ciudad de Ambato. Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador.

[34] Calidad de Servicio sobre redes de acceso pasivas ópticas para Ethernet First Mile (EPON)

http://projects.celtic-initiative.org/QUAR2/documents/QUAR2_Telecom2005_1.pdf

[37] Estudio Comparativo de Redes GPON y EPON

<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/2971/1551>

[40] Red GPON

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Redes_de_nueva_generaci%C3%B3n.pdf

[43] Tecnologías de Redes PON

http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APOn_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf

[44] GPON (*Gigabit Passive Optical Network*)

<http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>

[45] ARCOTEL

<http://www.arcotel.gob.ec/audio-y-video-por-suscripcion/>

[46] CINE CABLE TV

<http://www.cinecabletv.com/CABLE%20TV.html>

[49] Telefonía fija Audio-Video por suscripción y Radio-TV. Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones. (2015).

http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/BOLETIN-No-4-AVS_RTV_TF_.pdf

[54] CNT TV le da nuevas opciones de entretenimiento al país.

<https://www.cnt.gob.ec/blog/2014/07/11/tv-decnt-dinamiza-el-mercado/>

[56] DIRECTV

<http://www.directv.com.ec/paquetes/prepago/>

[58] Claro Televisión Satelital

<http://www.claro.com.ec/portal/ec/scm/personas/claro-tv/planes/tv-satelital/>

[81] Tamaño de la muestra

https://es.wikipedia.org/wiki/Tama%C3%B1o_de_la_muestra

[62] La demanda insatisfecha en los proyectos de inversión pública.

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v14_n2/pdf/a09v14n2.pdf

[64] Tasa de crecimiento

<http://www.monografias.com/trabajos98/disenio-del-sistema-alcantarillado-sanitario-y-planta-tratamiento-aguas-residuales/disenio-del-sistema-alcantarillado-sanitario-y-planta-tratamiento-aguas-residuales3.shtml>

[80] Índice de crecimiento relativo

<http://www.catedras.fsoc.uba.ar/demografiasocial/matdic/MD18.pdf>

[66] Regresión Lineal o Mínimos Cuadrados

<http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/regresi%C3%B3n-lineal/>

[67] Análisis de Regresión Lineal: El procedimiento Regresión Lineal

http://pendientedemigracion.ucm.es/info/socivmyt/paginas/D_departamento/materiales/analisis_datosyMultivariable/18reglin_SPSS.pdf

[69] *Alcatel 7342 Intelligent Service Access Manager (ISAM) Fibert o the User (FTTU)*

<http://www.broadbandsoho.com/PDF/Alcatel-Lucent%207342%20ISAM%20FTTU.pdf>

[71] Calix E7-2 GPON-8

<http://nextlevel.com.pk/wp-content/uploads/2016/03/E7-2.pdf>

[73] Fibras Óptica

https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_%C3%B3ptica

[75] Manual técnico. Instalación de cables de guarda con fibras ópticas (OPGW)

<http://es.slideshare.net/vvillatoro/manual-instalacin-opgw>

FOLLETOS

[1] Beltrán, Juan Pablo. (2014). Diseño de Redes de Fibra Óptica, Centro de Educación Continua EPN, Quito-Ecuador.

[2] Germán Arévalo B., (2014). Comunicaciones por Fibra Óptica, Maestría en Redes de Comunicaciones, PUCE, Quito-Ecuador.

[10] Jiménez, María Soledad. (2012). Características de la Fibra Óptica. Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

[39] Mejía David. (2014). Redes de Banda Ancha. PUCE, Quito-Ecuador.

[52] Alcaldía de Milagro. (2015). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón San Francisco de Milagro. Milagro-Ecuador.

[53] Gobierno Provincial del Guayas. (2012). Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia del Guayas. Guayas-Ecuador.

[72] Calix. (2014). T07xG HGU ONT *Installation Guide*

[74] Meave David, López Mauricio, Peñaranda Jorge. Romero Luis. (2009). Sistemas de Fibra Óptica. Universidad de Aquino. La Paz-Bolivia.

[76] Optronics S.A. Cable de Fibra óptica Exterior. Figura 8 sin armadura. Monomodo 24 – 144 hilos.

LIBROS

[11] Cabezas Andrés, Pinto Ricardo. Sistemas de Comunicaciones Ópticas. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. 2014.

[12] Tomasi Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Pearson Educación, Mexico, Cuarta edición, 2003.

[21] Johnson, Malcolm. Director ITU-T *Telecommunications Standardization Sector. Optical fibres, cables and systems*. ITU.T Manual 2009.

PROYECTOS DE TITULACIÓN

[6] Román Roberto. (2010). Diseño de la ampliación de la red de comunicación de EmelNorte utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[13] Criollo Luis. (2015). Diseño de una Red Convergente de Fibra Óptica para interconectar los Campus de la Universidad de las Américas. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador.

[14] Guano Henry, Molina Cristina. (2013). Estudio y Simulación de los Efectos No Lineales *Scattering* Estimulado de Brillouin (SBS) y *Scattering* Estimulado de Raman (SRS). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[16] Mera David, Pabón Byron. (2002). Estudio y Diseño de las Redes Ópticas WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) y su Aplicación en Redes de Acceso. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[17] Carrera Carlos. (2013). Estudio y Simulación del Efecto No Lineal Automodulación de Fase. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[32] Yaroslav Marchukov. (2011). Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH. Escuela Politécnica Superior de Gandia. Gandia-España.

[33] Gudiño Mauricio, Taco Remigio. (2013). Estudio y Diseño de una Red de Acceso GPON para proveer Servicios Triple Play (Internet, Telefonía y TV), para la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, a través de la Red Híbrida de la Empresa Cablezar Soluciones Creativas de Comunicaciones. Quito-Ecuador.

[35] Calle Bricelda. (2010). Diseños de una Red GEPON para la implementación en la ciudad de Guayaquil, estudio de viabilidad Técnico, Económico y Legal. Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil-Ecuador.

[36] Delgado Jefferson. (2015). Simulación de la Arquitectura FTTH en una Red Óptica Pasiva sobre la Plataforma *Optisystem*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador.

[41] Carpio Fabián. (2012). Estudio Técnico-Económica para la Implementación de Redes GPON para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. Universidad del Azuay. Cuenca-Ecuador.

[45] Barroso Andrés. (2012). Diseño de una Red de Fibra Óptica para la Implementación de Servicios de Banda Ancha en una Zona de Viviendas en Casco Urbano. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España.

[47] Rosero Marcos. (1998). Proyecto del Sistema de Televisión por Cable para la Ciudad de Tulcán. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[48] Villacrés Mario. (2008). Diseño de una Red de Telecomunicaciones Multiservicios para la Empresa Green TV en la Ciudad de Esmeraldas. Escuela Politécnica Del Ejército. Sangolquí-Ecuador.

[55] Taboada Gabriela. (2015). Modelo de Red Corporativa de Televisión Satelital DTH para CNT EP sede Ibarra basado en la Infraestructura del Hotel Bello Amanecer ubicado en la Parroquia de Tumbabiro. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.

[57] Zurita Ana. (2014). Estandarización y Mejoramiento de procesos del departamento de Tesorería de la compañía DIRECTV Ecuador Cía. Ltda. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja-Ecuador.

[60] Soto Christian. (2010). Elaboración de un Manual de Procedimiento para la Presentación de Proyectos de Redes de Fibra Óptica en Planta Externa para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT S.A. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador

[61] Alulima Enrique, Paladines César Augusto. (2014). Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba. Universidad Particular de Loja. Loja-Ecuador.

[63] Gómez María, Morejón Adriana. (2012). Estudio y Diseño de una red de Acceso GPON para los Servicios de Telecomunicaciones Triple Play (Voz, Video y Datos) en el sector oriental de la ciudad de Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.

[65] Quishpe Alejandra, Vinuesa Nuvia. (2010). Estudio de Factibilidad de una Red de Acceso para Servicios Triple Play en el Sector Central de la Ciudad de Ibarra, mediante la combinación de las Tecnologías FTTX (*Fiber To The X*). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[68] Cadena Gisela, Pozo Juan. (2014). Diseño de una Red de Acceso para Brindar Servicios Triple Play con Tecnología GPON (*Gigabit-Capable Passive Optical Network*) en las Cabeceras Cantonales de Tulcán, Montufar y Mira para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[70] Suárez Karina. (2012). Reingeniería de la Red Man de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - Loja y Diseño de una red Gpon para sus Clientes Corporativos. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

[77] Lapo Darwin. (2015). Diseño de una red GPON para la ciudad de Loja, sector suroccidente. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja-Ecuador.

[78] Gómez María Sol, Morejón Adriana- (2012). Estudio y Diseño de una Red de Acceso GPON Para los Servicios de Telecomunicaciones Triple Play (voz, video y datos) en el Sector Oriental de la Ciudad de Riobamba ,Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador.

NORMAS-ESTÁNDARES

[19] *Telecommunication Standardization Sector of ITU. (2009). Recomendación ITU-T G.652. Characteristic of a single-mode optical fibre and cable.* Ginebra.

[23] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T). (2012). Recomendación ITU-T G.654, *Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable*. Ginebra.

[24] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T). (2009). Recomendación ITU-T G.655, *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable*. Ginebra.

[25] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T). (2003). Recomendación ITU-T G.655, Características de las fibras y cable ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula. Ginebra.

[29] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T). (2005). Recomendación ITU-T G.983.1, Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas. Ginebra.

[30] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T). (2005). Recomendación ITU-T G.983.2, Especificación de la interfaz de control y gestión de terminales de red óptica para redes ópticas pasivas de banda ancha. Ginebra.

[31] Sector de Normalización de las Telecomunicaciones (ITU-T). (2001). Recomendación ITU-T G.983.3, Sistema de acceso óptico de banda ancha con asignación dinámica de anchura de banda para aumentar la capacidad de servicio. Ginebra.

[38] *Telecommunication Standardization Sector of ITU*. (2008). *Recommendation ITU-T G.984.4, Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): ONT management and control interface specification*.

[42] *Telecommunication Standardization Sector of ITU*. (2008). *Recommendation ITU-T G.984.1, Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics*. Ginebra.

FUENTE DE FIGURAS

[A] Germán Arévalo B. (2014). Comunicaciones por Fibra Óptica, Maestría en Redes de Comunicaciones.

[B] Malcolm Johnson Director ITU Telecommunication Standardization Sector, ITU-T Manual (2009), *Optical fibres, cables and systems*.

[C] Tomasi Wayne. Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Pearson Educación, Mexico, Cuarta edición, 2003.

[D] Criollo Santiago. (2015). Diseño de un Red Convergente de Fibra Óptica para interconectar los Campus de la Universidad de las Américas.

[E] Adiós a las atenuaciones por curvaturas.
<http://marismas-emtt.blogspot.com/2009/09/adios-las-atenuaciones-por-curvaturas.html>

[F] Fibra Monomodo de Dispersión Desplazada.
<http://fortiz.8k.com/ConceptosBasicos/Tema07-DispersionDesplazada.htm>

[G] Efectos de la Dispersión por Modo de Polarización (PMD) en la Propagación de Pulsos a través de Fibras Ópticas.

<http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v15n3/art14.pdf>

[H] Transmisión por fibra óptica.

<http://www.monografias.com/trabajos108/transmision-fibra-optica/transmision-fibra-optica2.shtml>

[I] Calidad de Servicio sobre redes de acceso pasivas ópticas para Ethernet First Mile (EPON).

http://projects.celtic-initiative.org/QUAR2/documents/QUAR2_Telecom2005_1.pdf

[J] Redes EPON y GPON

<http://epongpon.blogspot.com/>

[K][https://www.google.com.ec/maps/place/Milagro/@-2.125077,-](https://www.google.com.ec/maps/place/Milagro/@-2.125077,-79.592262,17z/data=!4m5!3m4!1s0x902d47b1ac773e79:0xca6e788c9cf5a035!8m2!3d-2.1387682!4d-79.5940544)

[79.592262,17z/data=!4m5!3m4!1s0x902d47b1ac773e79:0xca6e788c9cf5a035!8m2!3d-2.1387682!4d-79.5940544](https://www.google.com.ec/maps/place/Milagro/@-2.125077,-79.592262,17z/data=!4m5!3m4!1s0x902d47b1ac773e79:0xca6e788c9cf5a035!8m2!3d-2.1387682!4d-79.5940544)

[L] Fuente: SIETEL-ARCOTEL, Fecha de publicación: Noviembre 2016

[M] Fuente: SIRATV, Fecha de publicación: Noviembre 2016

[N] ARCOTEL

<http://www.arcotel.gob.ec/audio-y-video-por-suscripcion/>

[O]Fuente: Autor

[P] Alulima Enrique, Paladines César Augusto. (2014). Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba. Universidad Particular de Loja. Loja-Ecuador.

[Q] <https://www.calix.com/systems/e-series/e7-2.html>

[R] Cevallos Gabriela, Coronel Fausto. (2014). Diseño y Simulación de una Red de Acceso para brindar Servicios Triple Play con Tecnología FTTX en el Centro de la Ciudad de Ambato. Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador.

TABLAS

[50] Fuente: SIRATV, Fecha de publicación: Noviembre 2016.

[51] Fuente: SIETEL-ARCOTEL, Fecha de publicación: Noviembre 2016

[59]Fuente: Autor

ANEXO A

ENCUESTA CIUDAD MILAGRO

ENCUESTA CIUDAD DE MILAGRO

1) Qué tipo de servicios tiene contratado actualmente, cuánto tiempo y que horario?

SERVICIO	RESPUESTA
TELEFONÍA FIJA	
INTERNET	
TV por Cable	
TV Satelital	
NINGÚN SERVICIO	

2) Está conforme con los servicios contratados?

SERVICIO	SI	NO
TELEFONÍA FIJA		
INTERNET		
TV por Cable		
TV Satelital		

3)Cuál es su proveedor y cuál es el costo del servicio?

SERVICIO	PROVEEDOR	COSTO DEL SERVICIO
TELEFONÍA FIJA		
INTERNET		
TV por Cable		
TV Satelital		

4) Contrataría los 3 servicios a un solo proveedor?

OPCIÓN	RESPUESTA
SI	
NO	

5) Qué servicio contrataría a un mismo proveedor?

SERVICIO	SI	NO
TELEFONÍA FIJA		
Internet de alta velocidad		
TV Pagada con mayor número de canales		

ANEXO B

ESPECIFICACIÓN FIBRA MONOMODO G.652.D

Fibra monomodo G.652.D

Características generales

Esta especificación corresponde a fibras optimizadas para la transmisión en las longitudes de onda de 1310 nm a 1550 nm, incluida la región de 1303 nm y de acuerdo a la subcategoría G.652.D de la ITU-T.
El núcleo está compuesto por dióxido de silicio dopado, rodeado por un recubrimiento de dióxido de silicio, el revestimiento está formado por dos capas de acrílico curado mediante UV.

Características ópticas y geométricas

Parámetros ópticos		Fibra no cableada	Fibra cableada	Parámetros geométricos	
Atenuación a 1310 nm		≤ 0,35 dB/Km	≤ 0,37 dB/Km	Diámetro de campo modal 1310 nm	9,20 ± 0,40 μm
Atenuación a 1303 nm		≤ 0,35 dB/Km	≤ 0,37 dB/Km	Diámetro de campo modal 1550 nm	10,40 ± 0,50 μm
Atenuación a 1550 nm		≤ 0,21 dB/Km	≤ 0,24 dB/Km	Error concentricidad núcleo/cladding	≤ 0,4 μm
Atenuación a 1625 nm		≤ 0,23 dB/Km		Diámetro cladding	125,0 ± 0,50 μm
Atenuación en 1285-1625 nm		≤ 0,40 dB/Km		Error concentricidad coating/cladding	≤ 12 μm
Punto de discontinuidad máxima en 1310 y 1550 nm		≤ 0,05 dB		No circularidad coating	≤ 10 %
Longitud de onda de corte		1100 - 1320 nm	≤ 1260 nm	Diámetro coating (coloreado)	250 ± 15 μm
Punto de dispersión cero		1300-1324 nm			
Pendiente de dispersión cero		≤ 0,090 ps/nm ² .Km			
Dispersión cromática en 1285 -1330 nm		≤ 3,5 ps/nm.Km			
Dispersión cromática en 1550 nm		≤ 16,0 ps/nm.Km			
Dispersión cromática en 1625 nm		≤ 22,0 ps/nm.Km			
PMD fibra individual		≤ 0,15 ps/√Km			
PMDa (Q=0,01%, N=20)		≤ 0,08 ps/√Km			

Características mecánicas y ambientales

Características mecánicas	
Proof test level	1,2 % (120 kpsi, 0,86 GPa)
Radio de curvatura mínima	30 mm
Atenuación inducida por macrocurvatura:	
1 vuelta sobre 32 mm a 1550 nm	≤ 0,50 dB
100 vueltas sobre 50 mm a 1310 nm	≤ 0,05 dB
100 vueltas sobre 50 mm a 1550 nm	≤ 0,10 dB
100 vueltas sobre 60 mm a 1625 nm	≤ 0,50 dB
Fuerza de pelado (F) (valor de pico)	1,3 N ≤ F ≤ 5,9
Fuerza de pelado (F) (valor medio)	1 N ≤ F ≤ 5
Fatiga dinámica (nd)	20 (valor típico)
Fatiga estática (na)	20 (valor típico)

Características ambientales	
Atenuación inducida a 1310, 1550 y 1625 nm:	
-60°C ~ +85°C ciclo de temperatura	≤ 0,05 dB/Km
-10°C ~ +85°C/ hasta 98% RH. Ciclo temperatura y humedad	≤ 0,05 dB/Km
+85°C +/- 2° C. Calor seco	≤ 0,05 dB/Km
+23°C +/- 2° C. Inmersión en agua	≤ 0,05 dB/Km

Valores típicos

Índice de refracción de grupo efectivo	
1310 / 1303 nm	1,466
1550 nm	1,467
1625 nm	1,470

Información de Contacto

Oficinas Centrales
Polígono Industrial Centrovía
c/ Buenos Aires, 18
50196 La Muela, Zaragoza
España

Teléfono: (+34) 976 14 18 00
Fax: (+34) 976 14 18 10
comercial@telnet-ri.es

Oficina Comercial en Madrid
Avda. Menéndez Pelayo, 85 - 1° A
28007 Madrid
España

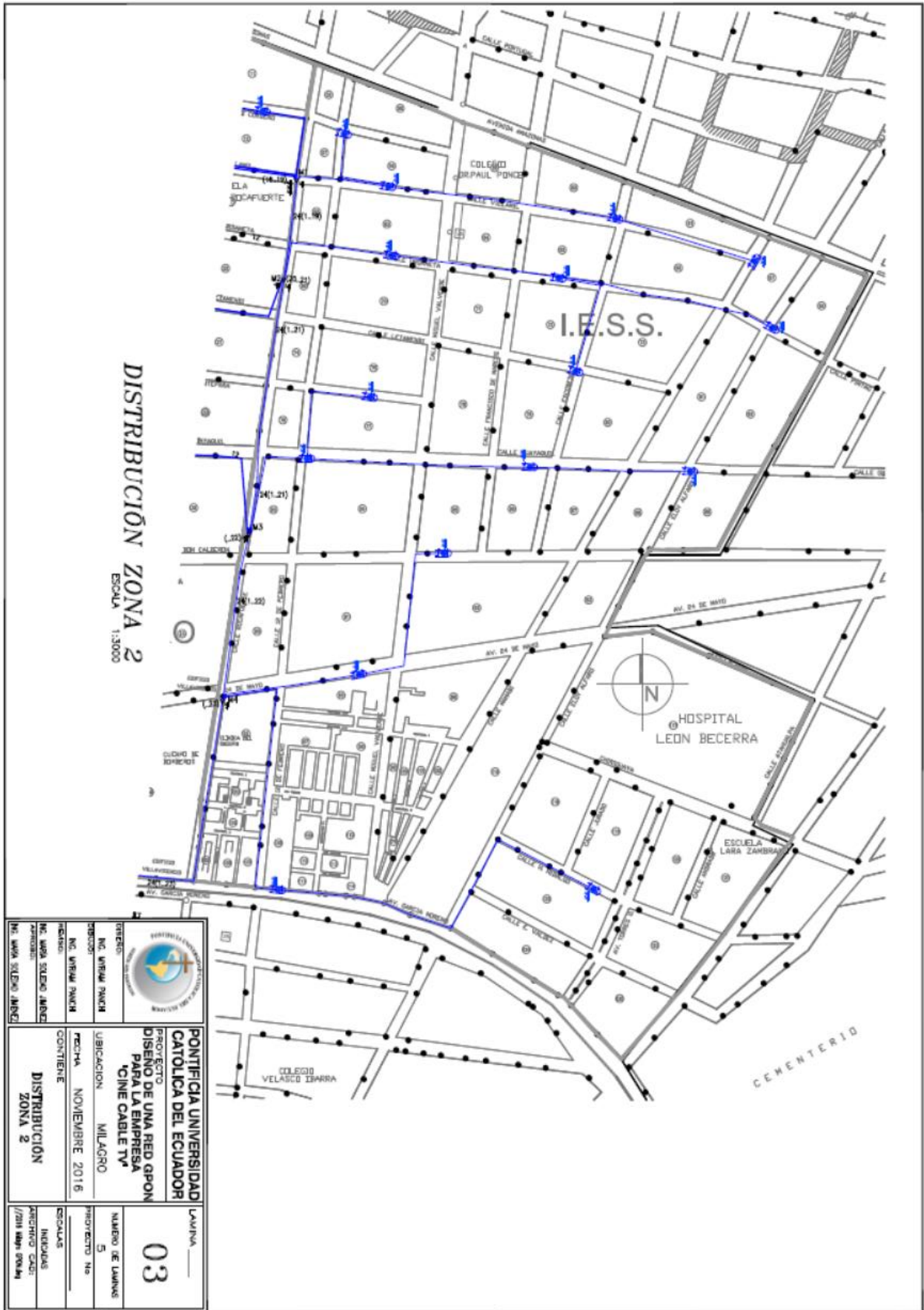
Teléfono: (+34) 91 434 39 92
Fax: (+34) 91 434 40 84

Filial en Portugal
NETISERTEL
Avenida da Liberdade, 110
1269- 046 Lisbon
Portugal

ANEXO C

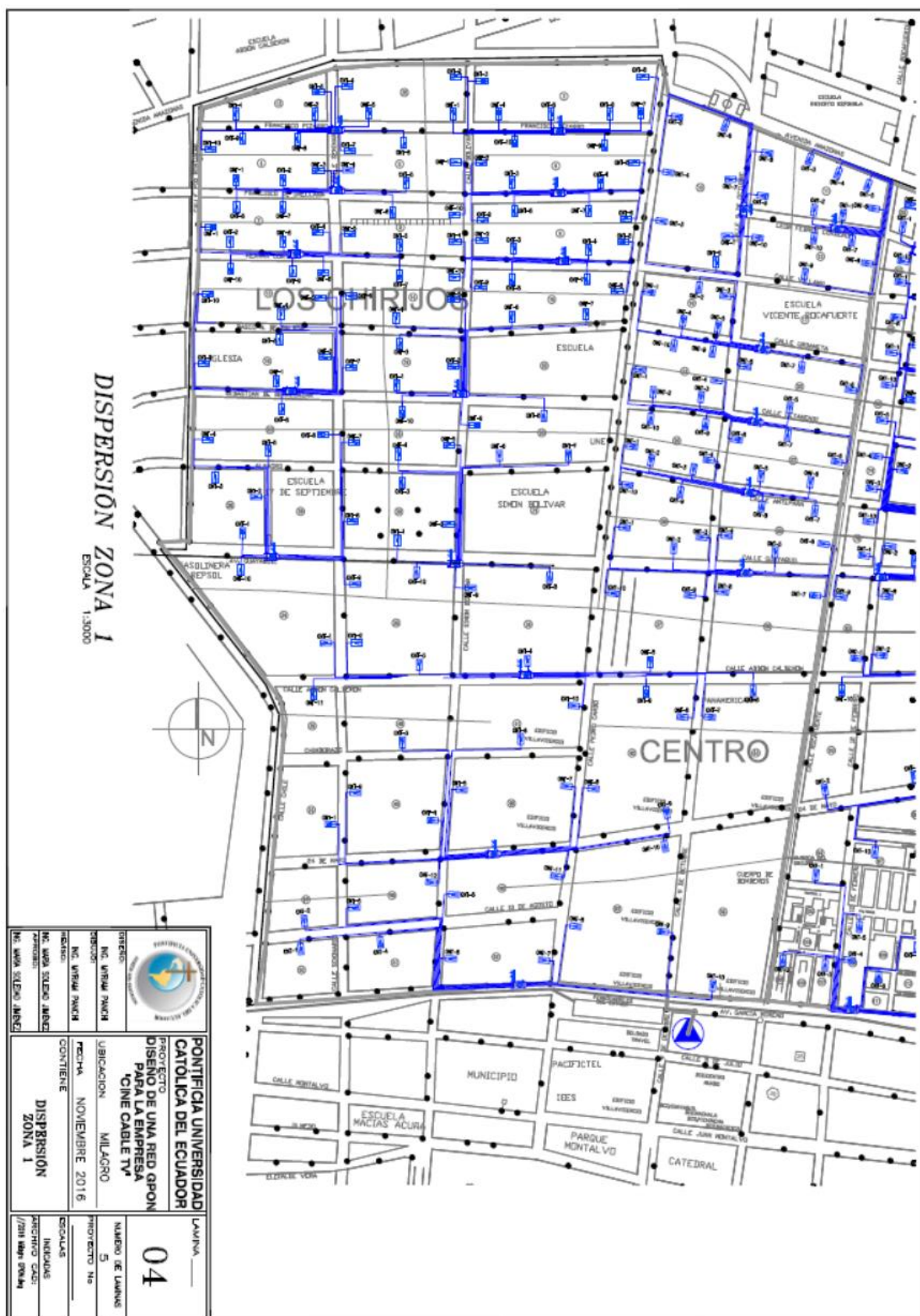
**PLANO DE LA UBICACIÓN FINAL DE EQUIPOS
Y TENDIDO DE FIBRA**

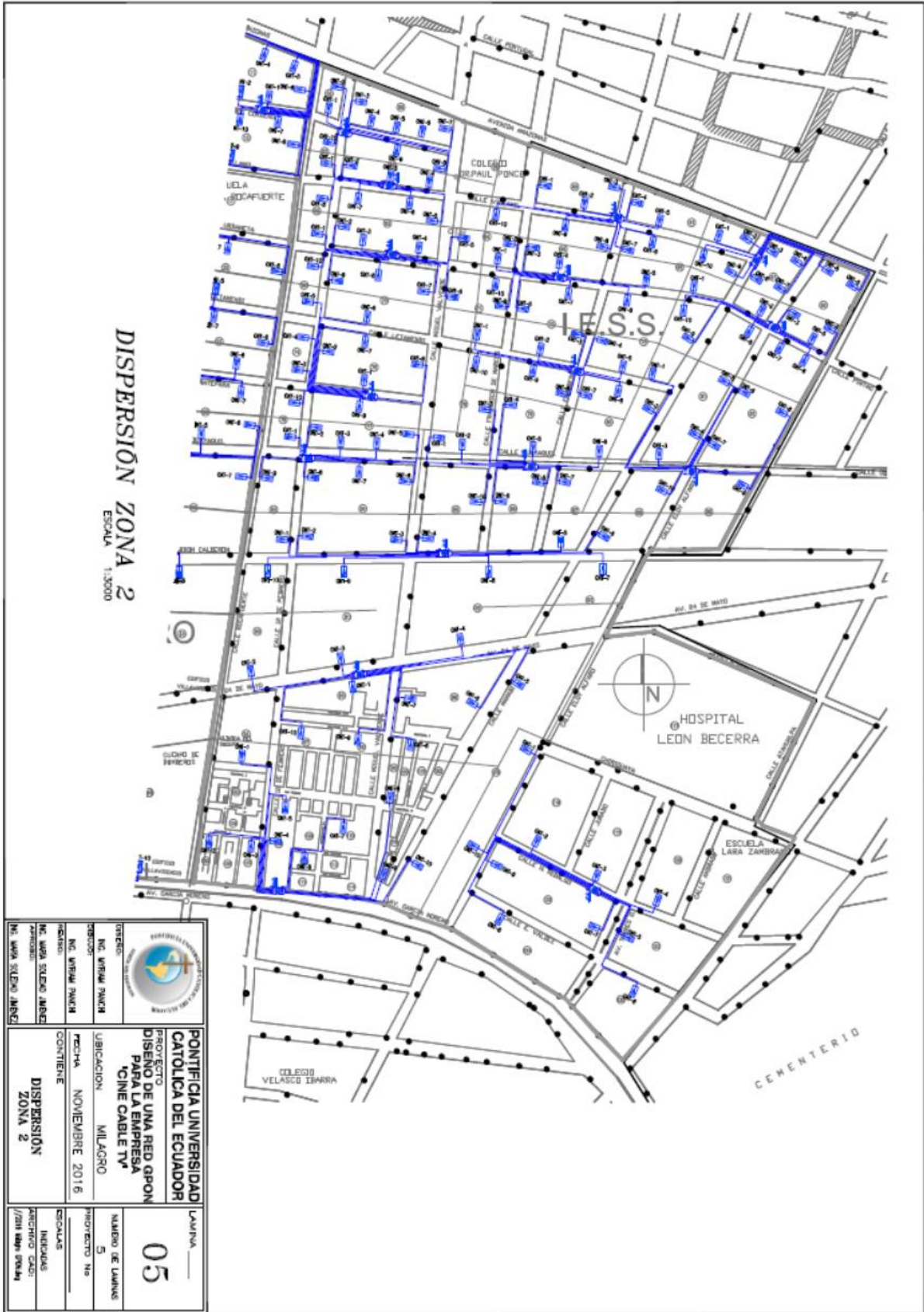




		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR	
PROYECTO DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA EMPRESA "CINE CABLE TV"	UBICACIÓN MILAGRO	FECHA NOVIEMBRE 2016	CONTIENE DISTRIBUCIÓN ZONA 2
REVISOR ING. WILMA PACHECA	PROYECTISTA ING. WILMA PACHECA	PROYECTO No 5	INDICADOR ARCHIVO CAD: /7911 Map 0004
CLIENTE ING. WILMA PACHECA	PROYECTO ING. WILMA PACHECA	PROYECTO No 5	INDICADOR ARCHIVO CAD: /7911 Map 0004

03





		PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR		LÁMINA 05	
PROYECTO: DISEÑO DE UNA RED OPON PARA LA EMPRESA "CINE CABLE TV"	UBICACIÓN: MILAGRO	FECHA: NOVIEMBRE 2016	CONTIENE: DISPERSION ZONA 2	ESCALAS: INDICADAS	ARCHIVO CAD: /2016 0001 0001.dwg
INGENIERO: ING. WILSON PACHECO	PROYECTO: ING. WILSON PACHECO	REVISOR: ING. WILSON PACHECO	APROBADO: ING. WILSON PACHECO	FECHA: NOVIEMBRE 2016	ESCALA: 1:3000